عوامل الشد البيئى ووسائل الحد من أضرارها

الحلول التكنولوجية لتحديات ومعوقات إنتاج الخضر فى الظروف البيئية القاسية

سلسلة تكنولوجيا وفسيولوجيا الخضر

عوامل الشد البيئى ووسائل الحد من أضرارها

الحلول التكنولوجية لتحديات ومعوقات إنتاج الخضر فى الظروف البيئية القاسية

تأليف

أ.د. أحمد عبد المنعم حسن

أستاذ الخضر

كلية الزراعة ـ جامعة القاهرة

يطلب من

كبرى دور النشر والمكتبات بمصر والعالم العربى

الطبعة الأولى ٢٠١٦

حسن، أحمد عبد المنعم

عوامل الشد البيئى ووسائل الحد من أضرارها:الحلول التكنولوجية لتحديات ومعوقات إنتاج الخضر فى الظروف البيئية القاسية / تأليف أحمد عبد المنعم حسن.

ط١.- القاهرة: - ٢٠١٥م

٦٤٨ ص, ١٧ × ٢٤- (سلسلة تكنولوجيا وفسيولوجيا الخضر).

تدمك: ٣ - ١٥٩- ٧٣٦ - ٩٧٧ - ٩٧٨

١. الخضروات - زراعة

٢. البيئة الزراعية

أ. العنوان

٦٣٥ ٢٠١٥/٢٧٠٥٥

رقم الإيداع:٢٠١٥/٢٧٠٥٥

تدمـــــك: ٣ - ١٥٩- ٧٣٦ - ٩٧٧ - ٩٧٨

الطبعة الأولى

١٤٣٧هـ -٢٠١٦م

توزيـــع

القاهرة: الدار العربية للنشر والتوزيع -دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع - مكتبة الأنجلو المصرية - دار الفكر العربى - مكتبة أوزوريس .الجيزة : المكتبة الأكاديمية - الإسكندرية : منشأة المعارف - المنصورة : المكتبة العصرية .

وكذلك يطلب من كبرى دور النشر والمكتبات بمصر والعالم العربى

المقدمة

يهدف هذا الكتاب إلى التعريف بتحديات ومعوقات ومشاكل إنتاج الخضر التى يكون مردها إلى عوامل بيئية، وهى ما دُرِجَ على تعريفه باسم "عوامل الشدّ البيئى"، وكذلك التعريف بوسائل وتقنيات التغلب على تلك المشاكل والتخفيف من حدتها وأضرارها. يتضمن الكتاب – فى فصول مختلفة – كافة عوامل الشد البيئى سواء أكانت مناخية (مثل البرودة، والتجمد، والحرارة العالية، والتغيرات المناخية، وتلوث الهواء، والفترة الضوئية، والإشعاع الشمسى... إلخ)، أو أرضية (مثل ملوحة التربة، ونوعية مياه الرى، والانحرافات الحادة فى خصائص التربة الطبيعية والكيميائية، ونقص أو زيادة العناصر، وتلوث التربة...إلخ). كذلك يتناول الكتاب بالشرح مختلف منشطات النمو واستعمالاتها فى الحد من أضرار الشدّ البيئى، سواء أكانت تلك المنشطات هرمونية، أم حيوية ميكروبية، أم حيوية طبيعية. أما مشاكل وتحديات إنتاج الخضر التى مردها إلى أسباب وراثية أو مرضية وحشرية فإنها تخرج عن أهداف هذا الكتاب.

أُعِدّ الكتاب ليكون مرشدًا لمنتج الخضر فى مواجهة معوقات ومشاكل تحديات الإنتاج. ويمكن للمهندسين الزراعيين وطلاب مرحلة البكالوريوس زيادة الاستفادة منه بقليل من التعمق فى الجوانب الفسيولوجية التى تطرق إليها الكتاب، والتى تؤدى إلى فهم أفضل لطبيعة المشاكل وطرق مواجهتها. أما الباحثون وطلاب الدراسات العليا فيمكنهم اللجوء إلى مزيد من التعمق فى الجوانب الفسيولوجية التى تطرق إليها الكتاب، وذلك تعظيمًا للفائدة التى أرجوها من الكتاب لكل الفئات التى استهدفها.

هذا.. وبالله التوفيق.

أ.د. أحمد عبد المنعم حسن

أستاذ الخضر

كلية الزراعة – جامعة القاهرة



محتويات الكتاب

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الصفحة

الفصل الأول

عوامل الشد البيئى : تمهيد

إن من أهم عوامل الشدّ التى تتعرض لها النباتات ، ما يلى:

أولاً: عوامل شد بيئية abiotic stresses، وتتضمن ما يلى

١- البرودة والتجمد.

٢- الحرارة العالية.

٣- التغيرات الفجائية فى درجة الحرارة (صدمة البرودة أو الصدمة الحرارية).

٤- الملوحة.

٥- نقص الرطوبة الأرضية.

٦- زيادة الرطوبة الأرضية ونقص الأكسجين فى التربة (الغدق).

٧- الأشعة (زيادة شدة الأشعة الضوئية المرئية والأشعة فوق البنفسجية UV-A، وUV-B) والفترة الضوئية غير المناسبة.

٨- المركبات الكيميائية والملوثات (العناصر الثقيلة، والمبيدات، والإيروسولات).

٩- الشد التأكسدى (المركبات النشطة فى الأكسدة — الأوزون).

١٠- الرياح وحبيبات الرمل والغبار التى تحملها الرياح.

١١- فقر التربة فى العناصر الميسرة.

١٢- الانحرافات الحادة فى كيمياء وطبيعة التربة.

ثانيًا: عوامل شد بيولوجية biotoc stresses، وتتضمن ما يلى

١- مسببات الأمراض (الفيروسات والبكتيريا والفطريات والنيماتودا).

٢- الحشرات والأكاروسات.

٣- المفترسات.

٤- القوارض (Manajan & Tuteja ٢٠٠٥، وSrivastava ٢٠٠٨).

ونقصر اهتمامنا فى هذا الكتاب على عوامل الشد البيئى وما تمثله من تحديات ومشاكل فى إنتاج الخضر، والتوصيات والوسائل التى تُمارس للحد من تلك المشاكل.

يُحدث الشد البيئى (غير الحيوى) تأثيرات متعددة على النباتات نتناولها بالتفصيل فى هذا الكتاب، ومن أبرز تلك التأثيرات زيادة إنتاج النباتات — التى تتعرض للشدِّ — للإيثلين. وتؤدى المستويات العالية من الإيثلين المنتج إلى تثبيط النمو، وإحداث نضج مبكر، كما تستحث بداية مرحلة الشيخوخة؛ مما يؤدى إلى خفض إنتاجية النباتات. وقد ثبت أن مستوى الإيثلين الذى تُنتجه أوراق الفراولة يمكن استخدامه كدليل مبكر على تعرض النباتات لشدٍّ بيئى، وتحديد النباتات التى تتعرض لحالة الشد فى المزارع المائية، أيًّا كان نوع ذلك الشد (Hogan وآخرون ٢٠٠٦).

التغيرات التى تحدث بالنباتات لتجنب أضرار الشد البيئى

تلجأ النباتات إلى وسائل متعددة لتتجنب بها أضرار الشد البيئى، والتى نتناولها بالشرح فيما يلى:

تعديل وضبط الضغط الأسموزى

تؤثر خاصية تعديل وضبط الضغط الأسموزى osmotic adjustment فى تحمل عديد من حالات الشدِّ، وهى شدِّ نقص الرطوبة الأرضية، والشدِّ الحرارى، وشدِّ البرودة، وشدِّ الملوحة.

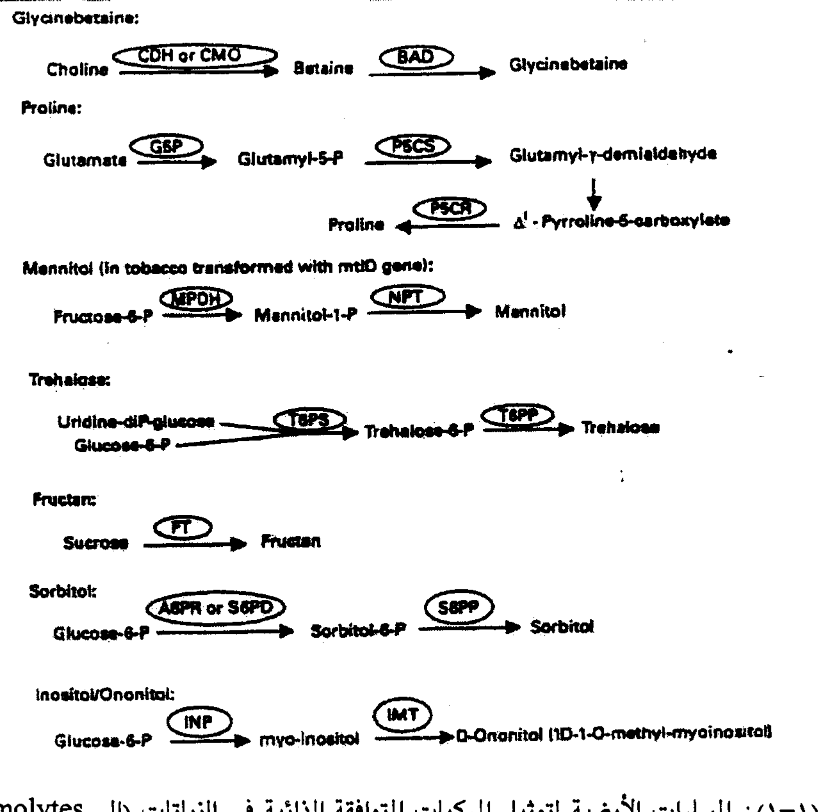
المركبات العضوية الذائبة المتوافقة

تتراكم فى النباتات لدى تعرضها لشدٍّ ملحى أو لجفاف أو لحرارة منخفضة مركبات عضوية ذات قدرة عالية على الذوبان وذات وزن جزيئى منخفض تعرف باسم المركبات الذائبة المتوافقة compatible solutes. تتواجد هذه المركبات فى صورة ثابتة داخل الخلايا ولا تدخل فى عمليات الأيض بسهولة، كما لا يكون لها أى تأثير على وظائف الخلية حتى مع تراكمها بتركيزات عالية. ولا تُعرف على وجه التحديد وظائف تلك المركبات فى الكائنات الحية، ولكن نظرًا لأن كثيرًا من حالات الشدِّ البيئى تُسبب جفافًا للخلايا، فإن تراكم تلك المواد ربما يلعب دورًا فى زيادة الضغط الأسموزى الداخلى؛ مما يمنع فقد الماء من الخلايا.

ومن أبرز المواد الذائبة المتوافقة المانيتول manitol والتريهالوز trehalose والكحولات السكرية الأخرى، والأحماض الأمينية مثل البرولين proline، ومشتقات الأحماض الأمينية مثل الجليسين بيتين glycinebetaine. وتتراكم بعض تلك المركبات – مثل البرولين – فى كل الأنواع النباتية تقريبًا، بينما يتواجد بعضها الآخر – مثل الجليسين بيتين – فى النباتات عالية التحمل للملوحة أو للبرودة (Iba ٢٠٠٢).

تمثيل المركبات المتوافقة الحافظة للضغط الأسموزى

إن تراكم المركبات المتوافقة الذائبة osmolytes فى النباتات تحت ظروف الشدِّ الأسموزى ظاهرة معروفة. وتتضمن تلك المركبات أساسًا: البرولين proline، والتريهالوز trehalose، والفروكتان fructan، والمانيتول mannitol، والجليسين بيتين glycinebetaine. ويتم تمثيل تلك المركبات من خلال المسارات الأيضية المبينة فى شكل (١–١).



شكل (١-١): المسارات الأيضية لتمثيل المركبات المتوافقة الذائبة فى النباتات (الـ osmolytes أو الـ osmoprotectants) (Zhang وآخرون ٢٠٠٠).

A6PR: aldose-6P reductase.

BADH: betaine aldehyde dehydrogenase used by both *E. coli* and plants.

CDH: choline dehydrogenase used by *E. coli.*

CMO: choline monooxygenase used by plants.

FT: fructosyltransferase (levan).

G5P: glutamate-5-phosphotransferase.

IMT1: myo-inositol O-methyltransferase.

INPS: myo-inositol-1-P synthase.

MPDH: mannitol-1-phosphate dehydrogenase.

NPT: a nonspecific phosphatase.

P5CR: delta- pyrroline-5-carboxylate reductase.

P5CS: delta-pyrroline-5-carboxylate synthetase.

S6PD: sorbitol-6-Pdehydrogenase.

S6PP: sorbitol-6-P phosphatase.

T6PP: trehalose-6-P phosphatase.

T6PS: trehalose-6-P synthase.

السكريات الذائبة

إن من الاستجابات الشائعة لظروف الجفاف والحرارة المنخفضة والملوحة فى النباتات تراكم السكريات (على الرغم مما يحدثه الشدّ من نقص فى معدل البناء الضوئى) والمواد الذائبة الأخرى المتوافقة. تخدم تلك المركبات كحاميات أسموزية osmoprotectants، كما تقوم – فى بعض الأحيان – بجعل الجزيئات البيولوجية أكثر ثباتًا تحت ظروف الشدّ. ويعد التريهالوز أحد أهم السكريات الذائبة التى تُسهم فى حماية النباتات من حالات الشدّ الأسموزى.

إن التريهالوز trehalose عبارة عن مركب مُختزِل يتكون من جزيئين من الجلوكوز disaccharide of glucose ويلعب دورًا فسيولوجيًا هامًا كواق ضد حالات الشدّ غير البيولوجى فى عدد كبير من الكائنات، منها البكتيريا والخمائر واللافقاريات. ولقد وجد أن التريهالوز يثبت (يمنع تدهور) الإنزيمات والبروتينات والأغشية الليبيدية التى فقدت رطوبتها، وكذلك يحمى التراكيب الحيوية من الأضرار التى يمكن أن تحدث لها أثناء تعرضها للجفاف.

ويبدو أن معظم الأنواع فى المملكة النباتية لا يتراكم فيها التريهالوز بكميات

محسوسة، وذلك باستثناء النباتات شديدة التحمل للجفاف التى تُعرف باسم "النباتات التى تبعث فيها الحياة" resurrection plants. هذا.. إلاّ أن الاكتشاف الحديث الخاص بوجود جينات متماثلة (متشابهة homologus) لتمثيل التريهالوز فى *Selaginella lepidophylla*، و*Arabidopsis thaliana*، وعديد من الأنواع النباتية المحصولية يفيد بأن القدرة على تمثيل التريهالوز قد تكون أمرًا شائعًا فى المملكة النباتية.

البروتينات الذائبة

يُعرف عديد من البروتينات النباتية التى يُستحث تكوينها استجابة للشدّ الملحى، وتقسم تلك البروتينات إلى مجموعتين مختلفتين، هما: بروتينات الشدّ الملحى التى تتكون استجابة للشدّ الملحى فقط، والبروتينات المصاحبة للشدّ، وهى التى تتراكم استجابة — إلى جانب الشدّ الملحى — لكل من شدّ الحرارة والبرودة والجفاف والغدق وزيادة ونقص العناصر المغذية.

يمكن أن توفر البروتينات التى تتراكم فى النباتات التى تنمو فى الظروف المحلية مخزونًا من النيتروجين، يمكن إعادة استخدامه بعد انتهاء حالة الشدّ، وقد تلعب دورًا فى التعديل الأسموزى. وقد يتم تمثيل تلك البروتينات لدى تعرض النباتات لظروف الشدّ، أو قد تتواجد طبيعيًا بتركيزات منخفضة، ثم تزداد لدى تعرض النباتات لظروف الشد. ومن أمثلة تلك البروتينات بروتين الأوزموتين osmotin فى التبغ، وهو ٢٦ كيلو دالتون (26 kDa)، والجرمين germin (وهو أيضًا ٢٦ كيلو دالتون ولكنه مختلف عن الأوزموتين) فى الشعير، وبروتين ٢٢ كيلو دالتون فى الفجل، وبروتينات أخرى عديدة، بالإضافة إلى الأنواع المختلفة من بروتينات الـ LEA فى الأرز على سبيل المثال (Ashraf & Harris ٢٠٠٤).

الأحماض الأمينية والأميدات

تتراكم الأحماض الأمينية فى النباتات الراقية فى ظروف الشدّ الملحى. ومن بين الأحماض الأمينية الهامة: الآلانين alanine، والأرجنين arginine، والجليسين glycine، والسيرين serine، والليوسين leucine، والفالين valine، بالإضافة إلى الحمض الإيمينى imino acid: البرولين proline، والأحماض الأمينية غير البروتينية: السترولين citroline، والأورنيثين ornithine. كذلك تتراكم الأميدات amides مثل: الجلوتامين glutamine، والأسباراجين asparagine فى النباتات التى تتعرض للشدّ الملحى.

وقد وجد أن الأحماض الأمينية الحرة الكلية فى الأوراق تكون أعلى فى سلالات دوار الشمس والقرطم والجرجير المتحملة للملوحة عما فى السلالات الحساسة للملوحة.

ويعد تراكم البرولين أحد أكثر الظواهر شيوعًا فى كثير من ذوات الفلقتين، ووحيدات الفلقة - تحت ظروف الشد الملحى - على الرغم من أنه لم يتراكم فى بادرات الشعير استجابة لشدّ كلوريد الصوديوم. هذا.. إلاّ أن البرولين يتراكم استجابة لشدّ الجفاف كذلك. ويفيد البرولين فى تنظيم تراكم النيتروجين المستعمل، وهو نشيط جدًا أسموزيًا، ويُسهم فى ثبات الأغشية البلازمية، ويخفف من إتلاف كلوريد الصوديوم للأغشية البلازمية، وهو لا يثبط نشاط الإنزيمات حتى ولو تراكم بتركيزات أعلى من التركيزات المثلى.

هذا.. إلا إنه لا توجد تلك العلاقة الموجبة بين تراكم البرولين وتحمل الملوحة فى بعض النباتات؛ فقد وجد أن تراكم البرولين يزداد فى أصناف الطماطم الحساسة للملوحة عما فى الأنواع البرية، كما لم يمكن الاعتماد على محتوى البرولين كدليل حساس للشدّ الملحى فى فول الصويا؛ ووجدت علاقة عكسية بين تراكم البرولين وتحمل

الملوحة فى كل من *Vigna mungo* والأرز والطماطم (عن Ashraf & Harris ٢٠٠٤).

متعددات الأمين

تحتوى المركبات المتعددة الأمين polyamines على مجموعتى أمين أو أكثر، وأكثرها شيوعًا فى النباتات الراقية: البوترسين putrescine، والاسبرميدين spermidine، والاسبرمين spermine، كما تتواجد ثنائيات الأمين: diaminoprpane، و cadaverine وإن كانت أقل شيوعًا.

ويمكن بناء على دور متعددات الأمين البيولوجى تقسيمها إلى مجموعتين، هما:

- مجموعة تضم البوترسين والـ cadaverine ودورهما شبيه بدور الأوكسينات والجبريلينات، وذلك فيما يتعلق باستطالة الخلايا وتكوين الجذور.
- مجموعة تضم الاسبرميدين والاسبرمين، وهما — مثل السيتوكينينات — ينظمان انقسام الخلايا وتكوين الأعضاء organogensis، وشيخوخة النبات.

تقوم متعددات الأمين فى الـ pH المتعادل بحماية الدنا DNA والرنا RNA، كما تقوم بحماية البروتوبلازم، وتنشيط انقسام الخلايا أثناء تكوين الأجنة، وتؤخر الشيخوخة فى معظم النباتات، إلاّ إن دورها فى المحافظة على ثبات الأغشية البلازمية مشكوك فيه، كما أن دورها فى التعديل الأسموزى صغير مقارنة بالمركبات النيتروجينية الأخرى.

يتباين تراكم مختلف متعددات الأمين فى مختلف النباتات التى تتعرض للملوحة ما بين التراكم والانخفاض وعدم التأثر. فقد وجد إنه — تحت ظروف الشدّ الملحى — يزداد البوترسين فى كل من الأرز والقطن والفول، بينما لم يتأثر تركيزه فى الشعير، كذلك يزداد الاسبرميدين فى الأرز وإن كان قد وجد أنه ينخفض فى ذات المحصول فى

دراسات أخرى، أما الاسبرمين فقد وجد أنه ينخفض فى الأرز. ويبدو أن تراكم متعددات الأمين لا يكون تحت تأثير الشدّ الملحى فقط، حيث إنه يحدث فى ظروف شد أخرى (Ashraf & Harris ٢٠٠٤).

الجليسين بيتين

يتكون الجليسين بيتين glycine betaine من الكولين choline؛ حيث يتم تمثيله من خلال خطوتى أكسدة للكولين بواسطة الإنزيمين: cholinemonooxygenase، وbetaine aldehyde dehydrogenase، ولقد أمكن عزل الجينين المسئولين عن التشفير لهذين الإنزيمين من بعض النباتات، وجرت محاولات لنقلهما - منفردين — بطرق الهندسة الوراثية لبعض النباتات لتمثيل الجليسين بيتين، إلاّ أن عدم توفر كميات كافية من الكولين والمادة الوسطية: بيتين ألدهيد betaine aldehyde حال دون تحقيق الهدف من عملية التحول الوراثى. هذا إلا إنه عندما حُوِّل الأرز وراثيًّا بالجين الخاص بتمثيل الإنزيم betaine aldhyde dehydrogenase، ثم عُومل الأرز المحول بـ betaine aldehyde خارجيًّا، فإن النباتات تراكم بها كميات كبيرة من الجليسين بيتين، وأظهرت تحملاً جيدًا لكل من الملوحة والحرارة المنخفضة.

البوليولات

تعد البوليولات من المركبات العضوية الذائبة المتوافقة التى تلعب دورًا فى التنظيم الأسموزى تحت ظروف الشدّ الملحى، وهى عبارة عن كحولات polyhydric، وهى تتواجد فى طررز غير حلقية وأخرى حلقية، ويشيع تواجدها فى المملكة النباتية. وأكثرها تواجدًا يتضمن البوليولات غير الحلقية: المانيتول mannitol، والجليسرول glycerol، والسوربيتول، وكذلك البوليولات الحلقية: الـ ononitol، والـ pinitol. وعمومًا.. يُعتقد أن البوليولات تتراكم فى السيتوبلازم فى بعض النباتات المحبة للملوحة

للتغلب على الاضطرابات الأسموزية التى تحدثها التركيزات العالية للأيونات غير العضوية التى تتراكم فى الفجوات العصارية. وإلى جانب دور البوليولات فى التنظيم الأسموزى، فإنها تفيد كذلك كمضادات للأكسدة.

تتراكم البوليولات فى عديد من الأنواع النباتية استجابة لظروف الشدّ الملحى وشدّ الجفاف (Ashraf & Harris ٢٠٠٤).

ولقد بُنيّ الاهتمام بالـpolyols فى بادئ الأمر على أساس دورها فى النبات كحاميات أسموزية osmoprotectants، وذلك بسبب كونها من المواد العضوية الذائبة المتوافقة compatible solutes. إلا أنه تبين — فيما بعد — أن الـ polyols تلعب دورًا أكبر فى تحمل عوامل الشدّ البيئى باعتبار فاعليتها الكبيرة كمضادات للأكسدة antioxidants (Williamson وآخرون ٢٠٠٢).

تكوين مضادات الأكسدة

تتوفر أدلة قوية على أن إنتاج المواد النشطة فى الأكسدة reactive oxygen species (اختصارًا: ROS) يزداد ويُحفز فى النباتات استجابة لعوامل شدّ بيئى مختلفة، مثل: الملوحة، والجفاف، والغدق، والحرارة الشديدة الارتفاع والشديدة الانخفاض، وشدة الإضاءة العالية، ومعاملات مبيدات الحشائش، ونقص العناصر المغذية، وكذلك استجابة للشدّ الحيوى. وتتميز النباتات ذات المحتوى العالى من مضادات الأكسدة بالمقاومة العالية لأضرار الأكسدة التى تُحدثها المركبات النشطة فى الأكسدة (عن Ashraf & Harris ٢٠٠٤).

تعمل المركبات النشطة فى الأكسدة (ROS) كجزيئات تعطى الإشارة لقدح وتنسيق استجابات النبات لحالات الشدّ. ويعد تنظيم الجهاز الدفاعى المضاد للأكسدة الذى يعادل تفاعلات الأكسدة والتفاعلات المضادة للأكسدة ضروريًا لتحديد مصير النبات. ويتكون هذا

النظام الدفاعى من مدى من مضادات الأكسدة الأولية الإنزيمية وغير الإنزيمية. وهى عبارة عن إنزيمات حامية ومركبات ذات وزن جزيئى منخفض، مثل حامض الأسكوربيك والجلوتاثيون glutathione والمركبات الفينولية (Tseng وآخرون ٢٠٠٧).

تتضمن العناصر النشطة فى الأكسدة (الـ ROS) أنيونات السوبر أوكسيد superoxide anions (O_2^-)، وفوق أكسيد الأيدروجين ($H_2O_2^-$)، وشق الأيدروكسيل hydroxyl radical ($^{*}OH$)، والـ singlet oxygen ($^1O_2$). تُحدث تلك العناصر أضرارًا للخلايا بأكسدة محتوياتها. وتزيد هذه العناصر فى النباتات عند تعرضها لحالات الشدّ البيئى، مثل الحرارة المنخفضة، والجفاف، وشدة الإضاءة العالية، وغيرها.

تُنتج هذه المركبات (الـ ROS) خلال عمليات الأيض الهوائية الطبيعية عندما تتسرب إليكترونات من سلاسل انتقال الإليكترونات electron transport chains فى الميتوكوندريات والبلاستيدات الخضراء، وتتفاعل مع الأكسجين (O_2) فى غياب مستقبلات أخرى.

تشترك ١٠ إنزيمات فى وقف التأثير السام للعناصر النشطة فى الأكسدة فى النباتات الراقية، وهى (عن Ahmed وآخرين ٢٠٠٨):

Superoxide dismutase

Catalase

Glutathione peroxidase

Glutathione S-transferases

Phospholipids-hydroperoxide glutathione peroxidase

Ascorbate peroxidase

Guaiacol type peroxidase

Monodehydroascorbate reductase

Dehydroascrobate reductase

Glutathione reductase

وبينما يتواجد الإنزيم CAT فى الجسيمات الصغيرة microbodies لجميع النباتات، فإن باقى الإنزيمات يتوزع وجودها بين البلاستيدات الخضراء، والسيتوبلازم، والميتوكوندريات، والجسيمات الصغيرة (Iba ٢٠٠٢).

تمتلك النباتات القدرة على التخلص من السوبر أوكسيد بمساعدة إنزيم الـ superoxide dismutase (اختصارًا: SOD)، الذى يحفز عملية الـ dismutation للـ superoxide إلى فوق أكسيد الأيدروجين والأكسجين، والذى يُعد هامًّا فى منع اختزال الأيونات المعدنية، ومن ثم تمثيل الـ hydroxyl radicals. ويمكن استبعاد فوق أكسيد الأيدروجين بإنزيم الـ ascorbate peroxidase الذى يقع فى أغشية الـ thylakoid.

ولمزيد من التفاصيل عن العناصر النشطة فى الأكسدة ROS ومضادات الأكسدة وإرسال الإشارات فى النباتات (signaling) .. يُراجع Ahmad وآخرون (٢٠٠٨).

كذلك تُنتج النباتات أكسيد النيتريك nitric oxide استجابة لكل من شد الجفاف والملوحة والحرارة، وكذلك عند التعرض للإصابات المرضية، وسريعًا ما يتفاعل أكسيد النيتريك مع كل من العناصر النشطة فى الأكسدة ROS وحامض الأبسيسك والهرمونات الأخرى وينظم تمثيل الإيثلين بصورة مباشرة أو غير مباشرة (Cheng وآخرون ٢٠٠٥).

معاملات متنوعة للتغلب على أضرار بعض حالات الشدّ البيئى

توصل الباحثون إلى عديد من المعاملات التى تُفيد فى تغلب النباتات على أضرار مختلف حالات الشدّ البيئى؛ الأمر الذى نتناوله بالتفصيل فى الفصول التالية من هذا الكتاب. ونستعرض فيما تبقى من هذا الفصل جانبًا من التأثيرات التى تُحدثها معاملات ذات تأثيرات إيجابية على أضرار أكثر من حالة من حالات الشدّ البيئى، مع تناولها بتفصيلات أكثر تحت مختلف حالات الشدّ فى الفصول التالية.

المعاملة بالبرولين

لجأ كثير من الباحثين إلى معاملة النباتات بالبرولين proline كوسيلة للتغلب على أضرار بعض عوامل الشدّ البيئى– وخاصة شدّ الملوحة والجفاف – كما يتبين من جدول (١-١).

جدول (١-١): تأثير المعاملة بالبرولين على تحمل بعض عوامل الشدّ البيئى فى النباتات (عن Ashraf & Foolad ٢٠٠٧).

النوع النباتى	حالة الشدّ	تأثير المعاملة بالبرولين
Distichlis spicata	الملوحة	ارتفع تراكم البرولين فى الخلايا المتأقلمة على تركيز من الملح
Glycine max	الملوحة	زادت المعاملة بالبرولين من إنتاج الإنزيمين: superoxide dismutase ، و peroxidase فى النباتات المعرضة للشدّ.
Allenrolfea occidentalis	الملوحة والجفاف	حيَّدت المعاملة بالبرولين الزيادة فى إنتاج الإثيلين فى النباتات المعرضة للشدّ.
Hordeum vulgare	الملوحة	أحدث البرولين نقصًا فى تراكم الصوديوم والكلورين فى خلايا مزارع الأجنة.
Allium cepa	الملوحة	خفف البرولين من تأثير كلوريد الصوديوم على تعطيل وإفشال وظيفة الأغشية الخلوية.
Oryza sativa	الملوحة	لم تغير المعاملة بالبرولين من محتوى الصوديوم والكلورين فى النباتات المعرضة للشدّ الملحى.
Nicotiana tabacum	الملوحة	حفزت المعاملة بالبرولين نمو الخلايا فى معلق تحت ظروف الشدّ الملحى دون الإبقاء على نسبة عالية من البوتاسيوم إلى الصوديوم.
Arabidpsis thalianta	لا يوجد عوامل شدّ	أحدث البرولين أضرارًا بالتركيب المجهرى للبلاستيدات الملونة والميتوكوندريات.

المعاملة بالسيلينيم

على الرغم من أن النباتات الراقية لا تحتاج إلى السيلينيم فى تغذيتها إلا أنه يعمل كمضاد للأكسدة، وقد ينشط الآليات الدفاعية التى تفيد فى التغلب على الشد التأكسدى فى البلاستيدات الخضراء (Seppanen وآخرون ٢٠٠٣).

المعاملة بالجليسين بيتين

أدت المعاملة بالجليسين بيتين glycinebetaine إلى تحسين تحمل النباتات لمختلف عوامل الشدّ البيئى، وذلك كما فى الحالات التالية:

النبات	عوامل الشدّ التى أمكن زيادة تحملها
Arabidopsis thaliana	الملوحة
	التجمد
	الشد التأكسدى
	البرودة
Avena sativa	الجفاف
	الملوحة
لفت الزيت *Brassica rapa*	الجفاف
	الملوحة
الفراولة	التجمد
الشعير	الجفاف
	الملوحة
الطماطم	البرودة
	الجفاف
	الملوحة
البرسيم الحجازى	التجمد
الأرز	الملوحة
الفاصوليا	الجفاف
القمح	التجمد
	الجفاف
	الملوحة
الذرة	البرودة

(Chen & Murata ٢٠٠٨).

ويبين جدول (١-٢) مزيدًا من التفاصيل فى هذا الشأن.

جدول (١-٢): تأثير المعاملة بالجليسين بيتين على تحمل بعض النباتات لبعض عوامل الشدّ البيئى (عن Ashraf & Foolad ٢٠٠٧).

النوع النباتى	حالة الشدّ	تأثير المعاملة بالجليسين بيتين
Nicotiana tabacum	الجفاف	استحث الجليسين بيتين تحسنًا فى النمو والمحصول فى النباتات المعرضة لشدّ الجفاف.
Phaseolus vulgaris	الجفاف	أظهرت النباتات المعاملة بالجليسين بيتين انخفاضًا بطيئًا فى الجهد المائى بالأوراق.
Glycine max	الجفاف	حسَّن الجليسين بيتين النمو النباتى.
Triticum aestivum	الجفاف	حسَّن الجليسين بيتين النمو النباتى فى إحدى الدراسات و لم يُحسِّنه فى دراسة أخرى.
Brassica napus	الجفاف	لم تحسن المعاملة بالجليسين بيتين النمو النباتى.
Zea mays	الجفاف	حسنت المعاملة بالجليسين بيتين نمو النباتات المعرضة للشدّ.
Solanum lycopersicum	الملوحة والحرارة العالية	حسنت المعاملة بالجليسين بيتين نمو النباتات المعرضة للشدّ.
Oryza sativa	الملوحة	حسنت المعاملة بالجليسين بيتين نمو النباتات المعرضة للشدّ الملحى، دون التأثير على النمو الجذرى، مع خفض تركيز الصوديوم وزيادة تركيز البوتاسيوم فى النمو الخضرى.
Arabidopsis thaliana	حرارة التجمد	حسنت المعاملة بالجليسين بيتين من تحمل التجمد (خفضت حرارة التجمد من - ٣,١ إلى - ٤,٥ °م).
Solanum tuberosum	الحرارة المنخفضة	حسنت المعاملة بالجليسين بيتين من نمو النباتات المعرضة للشدّ.
Gossypium hirsutum	الجفاف	بينما حسَّنت المعاملة بالجليسين بيتين من النمو والمحصول فى النباتات المعرضة للشد فى بعض الدراسات، فإنها لم تؤثر على النمو والمحصول فى دراسة أخرى.

المعاملة بالبراسينوستيرويدات

تستحث البراسّينوستيرويدات brassinosteroids (اختصارًا: BRs) فى النباتات قدرة على تحمل نوعيات مختلفة من الشدّ. ولقد وجد أن مستويات الـ BRs ترتبط إيجابيًّا بالقدرة على تحمل شدّ الأكسدة الضوئية photo-oxidation وشد البرودة والمقاومة لفيرس موزايك الخيار فى الخيار. كذلك حفّزت المعاملة بالـ BRs نشاط الإنزيم NADPH oxidase، ورفعت من مستويات الـ H_2O_2 فى الجدر الخلوية apoplast. وبينما رفعت المعاملة بالـ BRs مستوياتِ الـ H_2O_2 فى خلال ثلاث ساعات من المعاملة، فإن الـ H_2O_2 عاد إلى مستواه الأصلى فى خلال ثلاثة أيام بعد المعاملة، وكان هذا التراكم فى الـ H_2O_2 المستحث بالـ BRs مصاحبًا بزيادة فى قدرة تحمل شدّ الأكسدة. وعندما ثُبّط نشاط الـ NADPH oxidase وتم التحرر من الـ H_2O_2 كيميائيًّا.. حدث خفض فى كل من القدرة على تحمل شدّ الأكسدة وشدّ البرودة الذى استحثته المعاملة بالـ BRs، وكذلك حدث خفض فى التعبير الجينى الدفاعى. ولقد استحثت معاملة الـ BRs تعبير كلاً من الجينات المنظّمة (مثل RBOH، وMAPK1، وMAPK3) والجينات ذات الصلة بالدفاع والاستجابات المضادة للأكسدة. ويُستفاد مما تقدم بيانه أن الزيادة فى مستويات الـ H_2O_2 التى تنتج عن الزيادة فى نشاط الـ NADPH oxidase وثيقة الصلة بتحمل الشدّ الذى تستحثه المعاملة بالـ BRs (Xia وآخرون ٢٠٠٩).

المعاملة بالحديد

أمكن زيادة مستوى الحديد الحر فى الفاصوليا بنقع الجذور فى محلول Fe (III)–EDTA بتركيز ٩٠٠ ميكرومول/ لتر لمدة ٢٤ ساعة، حيث ارتفع محتوى الأوراق من الحديد من ١٦٠ إلى ٥٣٠ ملليجرام Fe/كجم وزن جاف. وأدت معاملة الحديد إلى زيادة نشاط إنزيم الـ ascorbate peroxidase من ٥,٣ إلى ١٨,٢ ميكرومول حامض أسكوربيك/جم وزن طازج فى

الدقيقة، وزيادة محتوى حامض الأسكوربيك من ٦,٦ إلى ١٠ مجم/جم وزن طازج، واستحثت زيادة فى نشاط إنزيمى الكاتاليز catalase والجلوتاثيون ردكتيز glutathione reductase بمقدار ٣٨٠٪، و٥٥٪، على التوالى. وساعدت هذه الزيادات فى أنشطة الجهاز المضاد للأكسدة فى أقلمة الفاصوليا المعاملة بالحديد لمعاملة تالية لذلك بالباراكوات paraquat الذى يُحدث شدًّا تأكسديًّا، مقارنة بما حدث فى نباتات الكنترول (Shainberg وآخرون ٢٠٠٠).

المعاملة بأزرق الميثيلين

من المعروف أن عوامل الشد البيئى مثل الحرارة العالية والملوحة العالية تسبب حالة من الشدّ التأكسدى فى النباتات بتحفيزها لتوليد العناصر النشطة فى الأكسدة reactive oxygen species (اختصارًا: ROS)، وهى التى يكون لها تأثيرات قوية سلبية على التطور النباتى. وتعد الميتوكوندريا أحد أهم مصادر الـ ROS فى الجذور. وقد عُرف حديثًا فى الثدييات أن المعاملة بأزرق المثيلين methlene blue بتركيزات شديدة الانخفاض يمكن أن تقلل من عملية وَهَنْ الميتوكوندريا من خلال التخلص من الـ ROS. وقد أُجريت دراسة على الطماطم نُميت فيها البادرات فى مزرعة مائية عُرِّضت لشد ملحى (١٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم) أو لحرارة جذور عالية (٣٥°م) لمدة ١٤ يومًا، مع المعاملة — أو عدم المعاملة — بأزرق المثيلين بتركيز ١٠^-٨^ مول. وأظهرت الدراسة أنه — فى الظروف الطبيعية — حفَّزت المعاملة بأزرق الميثلين كل من النمو الجذرى والنمو الخضرى، وأدت إلى زيادة تنفس الجذور وخَفْض تركيز فوق أكسيد الأيدروجين H_2O_2 والـ malonyldialdehde، وإلى زيادة نشاط الإنزيم superoxide dismutase فيها. وأدت كل من زيادة الملوحة وارتفاع حرارة الجذور إلى الحد من نمو كل من الجذور والأجزاء الخضرية، وتسببا فى زيادة الشد التأكسدى فى الجذور. هذا.. إلاّ أن المعاملة بأزرق الميثلين أحدثت حماية جوهرية من كلتا حالتى الشدّ البيئى، وأعادت مستويات تركيزات المركبات ذات العلاقة بالشد التأكسدى (الـ H_2O_2 والـ

(malonyldialdehyde) فى الجذور والأوراق إلى مستواها الطبيعى تقريبًا. ويُستفاد من هذه الدراسة أن المعاملة بأزرق الميثلين يمكن أن توفر حماية من حالتى شدّ الحرارة والملوحة – ليس فقط من خلال التفاعل مع ميتوكوندريا الجذور – ولكن أيضًا من خلال تحقيق أنشطة خلوية إضافية فى الجذور (Aloni وآخرون ٢٠١٠).

المعاملة ببكتيريا المحيط الجذرى

تُفيد بكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو النباتى فى تحسين إنتاجية النباتات ومقاومتها للأمراض، كما أنها تستحث مقاومة جهازية لكل من الملوحة والجفاف، وقد تزيد من امتصاص النباتات للعناصر من التربة؛ بما يفيد فى خفض المعدلات السمادية (Yang وآخرون ٢٠٠٨).

التطعيم كوسيلة للتغلب على بعض حالات الشدّ البيئى

نتناول موضوع التطعيم بالشرح تحت بعض عوامل الشدّ البيئى. وللاطلاع على التفاصيل المتعلقة باستخدام التطعيم كوسيلة لتحسين تحمل النباتات للشدّ الحرارى وشدّ الجفاف والملوثات العضوية .. يراجع Schwarz وآخرون (٢٠١٠).

مراجع إضافية فى الشدّ البيئى

- يقدم Hopkins (١٩٩٥) عرضًا علميًّا للحالة الفسيولوجية للنباتات التى تتعرض لشدّ الجفاف، وشدة البرودة، والتجمد، والحرارة العالية، والملوحة، وتلوث الهواء.
- ويعطى Krug (١٩٩٧) بيانًا رياضيًّا وفسيولوجيًّا عن التأثيرات البيئية على النمو والتطور والمحصول فى نباتات الخضر.
- وللاطلاع على تفاصيل شدّ البرودة والملوحة والجفاف.. يراجع Mahajan & Tuteja (٢٠٠٥).

الفصل الثانى

أضرار وتحديات شدّ البرودة والتجمد

تبدأ أضرار ومظاهر شد البرودة عندما تتعرض النباتات لحرارة تقل عن الحرارة الدنيا التى تتحملها، وهى التى تختلف باختلاف النوع المحصولى، وتتراوح بين ١٣ ْم فى المحاصيل شديدة الحساسية للبرودة مثل البطاطا، والصفر المئوى فى المحاصيل المتحملة لها مثل الكرنب. أما أضرار ومظاهر شد التجمد فهى تبدأ عند الصفر المئوى لكل محاصيل الموسم الدافئ، وتنخفض إلى ما دون الصفر بثلاث إلى خمس درجات فى المحاصيل المتحملة للبرودة مثل الصليبيات.

فعندما تتعرض النباتات الاستوائية وتحت الاستوائية لحرارة ١٠- ١٥ ْم فإن نموها يُثبَّط وينخفض فيها معدل البناء الضوئى والتنفس، وفى حرارة أقل من ذلك وحتى الصفر المئوى يحدث فى تلك النباتات تسرب للأيونات، وتغيرات لونية وتتكون بأوراقها البقع وقد تموت. وتعرف تلك التغيرات باسم أضرار البرودة chilling injury. وبعض تلك النباتات — مثل الذرة — يمكنها تحمل الحرارة المنخفضة — الأعلى من درجة التجمد — إذا ما أُقلمت على الحرارة المنخفضة على مدى عدة أيام أو أسابيع، ولكنها لا تتحمل التجمد.

وتقاسى نباتات المناطق الباردة من أضرار التجمد وقد تموت إذا تعرضت لحرارة التجمد خلال فصل الصيف. هذا.. إلاّ أن تلك النباتات ذاتها يمكنها تحمل حرارة أقل من الصفر المئوى خلال فصل الشتاء نظرًا لأنها تكون قد تعرضت لحرارة منخفضة (عادة فى حدود ٢- ١٠ ْم) خلال فصل الخريف، وهو ما يعرف باسم التأقلم على البرودة cold acclination. وكمثال على ذلك.. فإن نبات الراى *Secale cereale* يُقتل على حرارة - ٥ ْم إن لم يكن قد تأقلم على البرودة، ولكنه يتحمل حرارة تصل إلى — ٣٠ ْم إذا ما أُقلِم على البرودة لبضعة أسابيع (Srivastava ٢٠٠٨).

مظاهر وأضرار شد البرودة

التأثير الفسيولوجى لشد البرودة على المستوى تحت الخلوى

نجد على المستوى تحت الخلوى أن شدّ البرودة يؤثر فى ثبات الأغشية، وتمثيل الكلوروفيل، والبناء الضوئى، والتنفس، وقد يتسبب فى إحداث تسمم بالـ H_2O_2.

ويمكن تلخيص تلك التأثيرات فيما يلى:

١-يُعد الضرر الذى يحدث للأغشية البلازمية أهم تأثيرات شدُ البرودة، لأنه يولِّد عديدًا من التأثيرات الأخرى تحت الخلوية التى يظهر تأثيرها على النباتات. ويعتقد بأن شدّ البرودة يستحث حدوث انتقال فى الأغشية البلازمية من الحالة السائلة البلّورية الطبيعية liquid-crystalline state إلى حالة الجل الصلب solid-gel state غير الطبيعية. ويؤثر هذا التغير فى حالة الأغشية على وظائف الإنزيمات المرتبطة بها، والتسرب الأيونى...إلخ. ولذا.. يبدو أن درجة عالية من عدم تشبع الأحماض الدهنية فى دهون الأغشية مرتبط بتحمل شد البرودة.

٢-قد تحدث تغيرات تكوينية فى البروتينات فى ظروف شد البرودة، إلا أن تلك التغيرات يكون دورها – غالبًا – محدودًا فى شد البرودة.

٣-تُحدث الحرارة المنخفضة انخفاضًا فى معدل البناء الضوئى من خلال تأثيرها على عديد من الإنزيمات ذات العلاقة بالبناء الضوئى.

٤-يتعارض شد البرودة مع تمثيل الكلوروفيل ووظائف الكلوروبلاستيدات، وقد يتوقف تمثيل الكلوروفيل نهائيًا فى الحرارة الشديدة الانخفاض؛ مما يؤدى إلى ظهور أعراض نقص الكلوروفيل.

٥-قد تؤدى الحرارة المنخفضة إلى تراكم نواتج البناء الضوئى فى البلاستيدات

الخضراء، وذلك بمنع انتقالها إلى أعضاء التخزين، وقد يتسبب ذلك فى وقف عملية البناء الضوئى فى حرارة أعلى من تلك التى تلزم لتثبيط البناء الضوئى.

٦–يُعد التنفس أكثر تحملاً لانخفاض الحرارة عن البناء الضوئى؛ حيث يبدأ فى الانخفاض فى حرارة –١٠°م.

٧–يستحث شد البرودة– فى النباتات الحساسة – إنتاج مثبط لإنزيم الكتاليز. وتحتوى الأنسجة النباتية على فوق أكسيد الأيدروجين H_2O_2 بصورة طبيعية، وهو الذى يتحلل بفعل إنزيم الكتاليز؛ الأمر الذى يتوقف حدوثه فى النباتات المتأثرة بأضرار البرودة والتى يُستَحث فيها إنتاج مثبط الكتاليز؛ مما يؤدى إلى تراكم فوق أكسيد الأيدروجين، علمًا بأنه يعمل كمؤكسد يزيد من أضرار البرودة (عن Singh ١٩٩٣).

التأثير الفسيولوجى لشدّ البرودة على مختلف مراحل النمو النباتى

قد يُقدر شد البرودة بقياس تأثيره على إنبات البذور، والنمو، وعقد الثمار، والمحصول، وخصوبة حبوب اللقاح، وجودة الثمار. ويقود شد البرودة إلى ضعف إنبات البذور، وضعف نمو البادرات، وتقزم النمو، والذبول، والاصفرار المشوب بالخضرة، والتحلل، وضعف عقد الثمار، وعقم حبوب اللقاح.

وتظهر تأثيرات شد البرودة من خلال ما يلى:

١–تقلل الحرارة المنخفضة فى مرحلة إنبات البذور من نسبة إنباتها، وتزيد من فرصة إصابتها بمسببات الأمراض التى تعيش فى التربة، كما تبطئ من سرعة نمو البادرات. وتُعد مرحلة التشرب بالماء الأكثر حساسية للحرارة المنخفضة. وقد أُرجِعَ ذلك إلى أن الـ plasma lemma فى البذور الجافة لا تكون تامة الاتصال؛ الأمر الذى يُعالج عند تشرب البذور بالماء فتصبح متصلة، ولكن تلك المعالجة تضعف فى الحرارة العالية.

٢-تعد مرحلة بدء البناء الضوئى بعد إنبات البذور الأكثر حساسية - كذلك- لشدّ البرودة.

٣-يحدث ضعف فى النمو الجذرى فى الحرارة المنخفضة؛ مما يُضعف من قدرة الجذور على امتصاص الماء والعناصر الغذائية. وتُحدث البرودة زيادة حادة فى المقاومة الهيدروليكية للجذور؛ مما يتسبب فى حدوث شدّ مائى.

٤-يزداد تراكم حامض الأبسيسك فى النباتات المتأثرة بالبرودة؛ الأمر الذى يؤدى إلى انغلاق الثغور وتحسين الوضع المائى للنباتات.

٥-تؤدى الحرارة المنخفضة إلى عقم حبوب اللقاح وضعف عقد الثمار وتشوهها. وقد يحدث التشوه نتيجة تأثير حبوب اللقاح على تطور المبيض (عن Singh ١٩٩٣).

تأثير الحرارة المنخفضة على إنبات البذور ونمو البادرات الصغيرة

تعد أضرار البرودة التى تتعرض لها البذور عند محاولة زراعتها فى الجو البارد من أهم أسباب ضعف إنبات البذور. كما أن البذور التى تنبت فى مثل هذه الظروف تكون بادرتها ضعيفة النمو، وتتعرض للذبول (بسبب ضعف نفاذية الجذور للماء، مع استمرار النتح من الثغور التى تبقى مفتوحة خلال فترة التعرض للبرودة)، وتتكون فيها بقع متحللة(necrosis)، ويتأخر وصولها إلى مرحلة النضج، وينخفض محصولها.

كذلك تتعرض جذور البادرات النباتية لأضرار البرودة؛ فيقل امتصاصها للماء؛ بسبب ضعف توصيلها له داخليًا، وتتسرب الأيونات منها بسبب الأضرار التى تحدثها البرودة بالأغشية الخلوية، كما يضعف نموها بسبب فقدان التوازن بين انقسام الخلايا وتميزها.

وتحدث الأضرار للأغشية الخلوية بسبب زيادة أكسدة peroxidation ليبيدات الأغشية عند تزايد تراكم الـ free radicals فيها فى ظروف الشد stress الناشئة عن انخفاض درجة الحرارة. ولمزيد من التفاصيل عن تأثير الحرارة المنخفضة على الأغشية

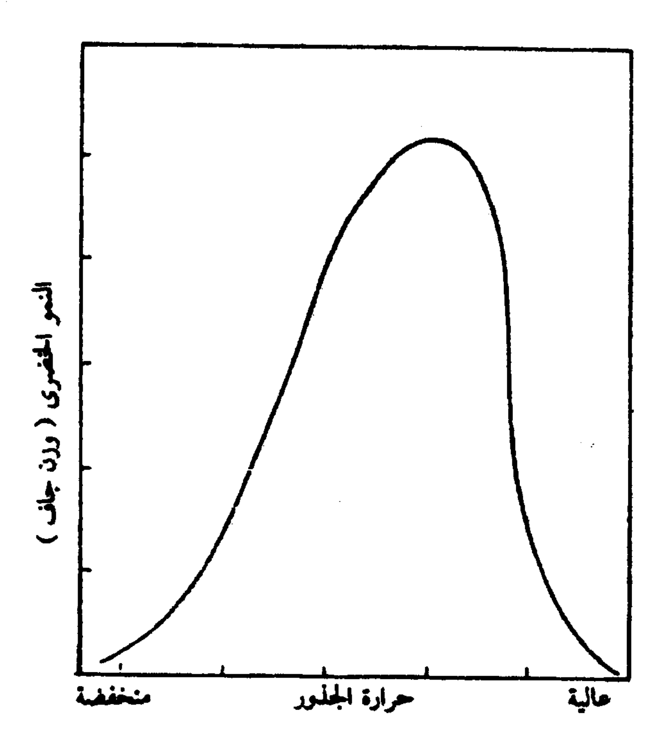
البلازمية.. يراجع Lyons وآخرون (١٩٧٩).

وفى الطماطم.. أدى تعريض البادرات الحديثة لحرارة ٥°م – لمدة ثلاثة أيام – إلى حدوث أضرار شديدة على المستوى الخلوى، ظهر – بالنسبة لأنسجة السويقة الجنينية السفلى – على صورة أضرار شديدة بالأغشية الخلوية أدت إلى موت نحو ١٠٪ من الخلايا. وكان تقدم الضرر بصورة تدريجية؛ فلم يحدث سوى تغيرات قليلة فى الساعتين الأوليين. وبعد أربع ساعات حدثت أضرار بالـ thylakoids، وأصبحت أغشية الميتوكوندريات غير متصلة. وبعد ثمانى ساعات ظهر اختلال تركيبى فى السيتوبلازم وتغيرت الريبوسومات. وبعد اثنتى عشرة ساعة أصبحت التغيرات فى الأغشية البلازمية شديدة، وبدت الجدر الخلوية معتمة وأكثر سمكًا. وبعد ست عشرة ساعة ازداد وضوح كل الأعراض السابقة وترسب البروتين فى الفجوات العصارية (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

ويتبين من دراسات Hariyadi & Parkin (١٩٩٣) – التى عرَّضا فيها بادرات الخيار وهى فى عمر أسبوع لحرارة ٤°م لمدة يوم إلى ستة أيام – أن فقد البادرات لحيويتها بدأ بعد يومٍ واحدٍ من التعرض للحرارة المنخفضة، واكتمل خلال أربعة أيامٍ، واتضح أن لأضرار البرودة علاقة بشدّ أكسدة oxidative stress ينشأ لدى التعرض للحرارة المنخفضة. ويؤيد ذلك دراسات Walker & McKersie (١٩٩٣) التى قارنا فيها الطماطم بنباتات النوع البرى *Solanum habrochaites* المقاوم لأضرار البرودة، والتى توصلا منها إلى أن تمثيل مضادات الأكسدة ربما كان جزءًا من النظام المعقد لتحمل البرودة فى هذا النوع.

تأثير الحرارة المنخفضة على وظائف الجذور

إن تأثير التباين فى درجة حرارة الجذور على النمو القمى يتبع النمط العام الموضح فى شكل (٢–١).



شكل (٢-١): تأثير التباين فى درجات حرارة الجذور على النمط العام للنمو الخضرى للنبات.

وتحدث عدة تغيرات فى فسيولوجيا الجذور يمكن أن تُفسَر بها التغيرات التى تلاحظ على النموات الخضرية، ويمكن إيجازها فيما يلى:

١- يؤدى انخفاض درجة الحرارة إلى نقص معدل امتصاص الجذور للماء لعدة أسباب؛ منها ما يلى:

أ- زيادة لزوجة الماء؛ بسبب زيادة الروابط الهيدروجينية به فى الحرارة المنخفضة.

ب- ضعف نفاذية الأغشية الخلوية للماء فى ظروف الحرارة المنخفضة.

ج- يزيد معدل ذوبان الغازات فى الماء فى الحرارة المنخفضة؛ فيزيد ذوبان غازى ثانى أكسيد الكربون والأكسجين؛ الأمر الذى يؤدى إلى انخفاض الـ pH؛ فيقل امتصاص الماء تبعًا لذلك.

د- يقل نشاط المركبات الذائبة فى الخلايا الجذرية؛ فيزيد الجهد الأسموزى osmotic potential بالجذور تبعًا لذلك.

وقد تؤدى جميع هذه العوامل إلى حدوث شد رطوبى بالنبات.

٢- يتأثر كذلك امتصاص العناصر بدرجة حرارة الجذور؛ ففى الحرارة المنخفضة .. يقل تيسر العناصر من صخور التربة إلى المحلول الأرضى؛ فيقل المتوفر منها تبعًا لذلك. كذلك يقل الانتقال النشط للعناصر بين خلايا الجذر عند انخفاض درجة الحرارة، كما تقل أيضًا عمليات الانتقال والتمثيل. كذلك يقل نشاط الكائنات الدقيقة فى التربة؛ فيقل تيسر العناصر تبعًا لذلك.

٣- يؤدى انخفاض درجة الحرارة إلى نقص انتقال الغذاء المجهز فى النبات، ويتغير نظام انتقاله؛ ذلك لأن ضعف النمو الجذرى يعنى عدم احتياجها إلى قدرٍ كبيرٍ من الغذاء المجهز، الذى يبقى — حينئذ — فى الأوراق، التى تصبح أسمك، ويزيد وزنها الجاف.

٤- كذلك يؤدى انخفاض حرارة الجذور إلى انخفاض تمثيل وانتقال الهرمونات والمركبات التى تنتج فى الجذور؛ مثل: السيتوكينينات، والأحماض الأمينية، وبعض الفيتامينات.

هذا.. بينما يؤدى ارتفاع درجة حرارة الجذور إلى زيادة محتوى النبات من النيتروجين النتراتى؛ وذلك بسبب ضعف نشاط إنزيم نيتريت ريدكتيز nitrate reductase، مع زيادة امتصاص النيتروجين فى هذه الظروف (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

وقد ظهرت على الجذور الأولية لنباتات الذرة السكرية — التى عُرضت لحرارة ٤°م — تغيرات فى كل من السيتوبلازم والنواة، وكانت أنوية وميتوكوندريات خلايا جذور فول الصويا التى عُرضت لحرارة ٤°م غير منتظمة الشكل. وظهرت على جذور عدد من النباتات الحساسة للبرودة تغيرات أخرى كثيرة لدى تعريضها للبرودة؛ منها: تضخم

الميتوكوندريات، وزيادة الشبكة الإندوبلازمية الخشنة، وعدم استمرارية الغشاء البلازمى الداخلى، واختفاء الصفيحة الوسطى.

ويستدل من دراسات Reyes & Jennings (١٩٩٤) على كل من الخيار والكوسة أن تعرض الجذور – بعد ثلاثة إلى أربعة أيام من استنبات البذور – لحرارة تراوحت من ٢– ١٥ °م لفترات امتدت من ٢٤–١٩٢ ساعة أحدث التأثيرات التالية:

١–كانت البادرات أكثر حساسية لأضرار البرودة عند ٢٠ °م، و٦ °م، وتمثلت الأضرار فى ضعف قدرة البادرات على استعادة نموها فى حرارة ٢٦ °م.

٢–ضَعُفَ النمو الجذرى عند التعرض لأضرار البرودة لمدة ٤٨ ساعة فأكثر.

٣–كانت البادرات التى عرضت لحرارة ١٠ °م أو ١٥ °م قادرة على النمو الجذرى فى هذه الظروف، واستعادت نموها الطبيعى فى حرارة ٢٦ °م. ولكن ظهر تلون بنى فى أطراف الجذور فى كل من الخيار والكوسة لدى تعرضهما لحرارة ١٠ °م؛ مما يدل على حدوث تغيرات أيضية غير طبيعية عند هذه الدرجة.

٤–ظهر التأثير السلبى على الوزن الجاف للجذور بعد ٢٤ ساعة من جميع معاملات البرودة.

٥–لم يمكن للبادرات التى عُرضّت لحرارة ٢ °م أو ٦ °م لمدة ٩٦ ساعة استعادة نموها عندما نقلت إلى حرارة ٢٦ °م.

٦–ازداد تسرب الأيونات من جذور الخيار والكوسة بعد تعرضهما لحرارة ٢ °م لمدة ٤٨ ساعة.. وكان الفقد فى أيونى الصوديوم والفوسفات أكثر مما فى أيونات المغنيسيوم، والكلورين، والكبريتات. ولم تظهر هذه الاختلافات فى التسرب الأيونى على حرارة ١٠ °م أو ١٥ °م، كما لم يتسرب أيون الكالسيوم عند أى من درجات الحرارة المنخفضة.

تأثير الحرارة المنخفضة على نمو وأيض النباتات

أوضحت دراسات King & Reid (١٩٨٧) على الطماطم اختلاف النباتات فى حساسيتها لأضرار البرودة باختلاف الوقت من اليوم من دورة الضوء والظلام اليومية؛ فكانت الحساسية للبرودة أعلى ما يمكن عندما بدأ التعرّض للحرارة المنخفضة فى نهاية فترة الظلام. وأظهرت الدراسة عدم وجود علاقة بين تلك التغيرات اليومية فى الحساسية للبرودة وبين أية تغيرات فى وظائف الجذور أثناء التعرض للحرارة المنخفضة أو بعده، أو أية تغيرات يومية فى انفتاح وانغلاق الثغور.

ويستدل من دراسات Brüggemann وآخرين (١٩٩٢ أ) على عدم تأثر القدرة التطورية لنباتات الطماطم بالحرارة المنخفضة ما دامت درجة الحرارة لا تقل عن ٨ °م. ولكن .. بالرغم من استمرار تكوُّن الأوراق الجديدة بصورة طبيعية عند نقل النباتات إلى حرارة ٢٢ °م/١٨ °م (نهار/ليل)، فإن تراكم نواتج البناء الضوئى قد توقف لمدة حوالى أسبوع، وكان هذا التأخير مصاحبًا بفقد تام للقدرة على البناء الضوئى فى الأوراق المكتملة النمو التى تعرضت لمعاملة البرودة. وقد درس الباحثون (Brüggemann وآخرون ١٩٩٢ ب) الأساس الفسيولوجى لهذه الظاهرة.

طبيعة تحمل البرودة

دور الأحماض الدهنية غير المشبعة بالغشاء البلازمى

تحتوى الأغشية البروتوبلازمية للخلايا على أحماض دهنية غير مشبعة بدرجة عالية، وهى التى يُشار إليها باسم trienoic fatty acids (اختصارًا: TFA) ورغم تباين كمية تلك الأحماض فى النوع النباتى الواحد تبعًا للبيئة التى يعيش فيها النبات، فإن النباتات ذات القدرة العالية على تحمل الحرارة المنخفضة — مثل القمح — تزداد فيها كمية الـ TFA لتمثل أكثر من ٨٠٪ من جميع الأحماض الدهنية فى الغشاء البلازمى حينما تتعرض لحرارة منخفضة. وفى المقابل.. فإن بعض النباتات الصحراوية والتى تتحمل الأجواء الحارة والجفاف تنخفض فيها بوضوح نسبة الـ TFA فى البيئات الحارة. ولذا.. فإنه يعتقد بأن

الـ TFA تلعب دورًا هامًّا فى تحمل النباتات للبرودة والحرارة. ولقد أمكن إنتاج نباتات محولة وراثيًّا ذات قدرة عالية على تحمل الحرارة بتثبيط نشاط الإنزيم omega-3 fatty acid desaturase الذى يقوم بتمثيل الـ TFA (Iba ٢٠٠٦).

وقد تبين لدى مقارنة الأحماض الدهنية فى الأغشية الخلوية للنباتات الحساسة للبرودة بتلك التى تكون فى النباتات المتحملة لها، وفى النباتات التى أقلمت على البرودة مقابل تلك التى لم تؤقلم.. تبين وجود وفرة أكبر من الأحماض الدهنية التى تحتوى إما على رابطتين غير مشبعتين (حامض اللينوليّك linoleic acid)، وإما على ثلاث روابط غير مشبعة (حامض اللينولينك linolenic acid) بكل حامض دهنى من الدهون الفوسفورية التى توجد فى الأغشية الخلوية بالنباتات الأكثر تحملاً للبرودة عن الأقل تحملاً، وبالنباتات الأكثر تأقلمًا على البرودة عن غير المؤقلمة، هذا مع العلم بأن الأحماض الدهنية غير المشبعة تجعل الأغشية الخلوية أكثر سيولة فى الحرارة المنخفضة، مما يمنع صلابتها عند انخفاض الحرارة إلى أقل من ١٠°م.

ويبين جدول (٢-١) نسبة الأحماض الدهنية غير المشبعة إلى الأحماض الدهنية المشبعة فى دهون الغشاء الخلوى للميتوكوندريات فى عدد من النباتات الحساسة لأضرار البرودة والمتحملة لها.

جدول (٢-١): نسبة الأحماض الدهنية غير المشبعة إلى الأحماض الدهنية المشبعة فى دهون الغشاء الخلوى للميتوكوندريات فى عدد من النباتات الحساسة لأضرار البرودة والمتحملة لها (عن Hopkins ١٩٩٥).

النبات	الجزء النباتي	النسبة
نباتات حساسة لأضرار البرودة:		
الفاصوليا	النموات الخضرية	٢,٨
البطاطا	الجذور الخازنة	١,٧
الذرة	النموات الخضرية	٢,١
الطماطم	الثمار الخضراء	٢,٨

(يتبع)

تابع جدول (٢-١)

النبات	الجزء النباتي	النسبة
نباتات متحملة لأضرار البرودة:		
القنبيط	البراعم	٣,٢
اللفت	الجذور	٣,٩
البسلة	النموات الخضرية	٣,٨

ولقد أحدث تعريض نباتات الخيار لحرارة ٦°م أضرارًا لا رجوع فيها أدت إلى موتها. فبعد التعرض لتلك الدرجة انخفض المحتوى الكلى للزيوت المؤيَّنة (polar) بنحو ٣٠٪، وكان الانخفاض فى الدهون الجالاكتونية (galacto) والكبريتية (sulfo) أشد عما فى الدهون الفوسفورية (phospholipids) كذلك نتج عن معاملة الحرارة المنخفضة انخفاضًا طفيفًا فى نسبة الأحماض الدهنية غير المشبعة إلى الأحماض الدهنية المشبعة، وزيادة فى نسبة حامض اللينولينك linolenic إلى حامض اللينوليك linoleic (Novitskaya وآخرون ١٩٩٩).

أهمية مضادات الأكسدة فى تقليل أضرار البرودة

تُنتج جميع الكائنات الحية عناصر نشطة فى الأكسدة reactive oxygen species (اختصارًا: ROSs)، منها السوبر أوكسيد (O_2^-)، وفوق أكسيد الأيدروجين (H_2O_2)، والـ hydroxyl radical (أى OH). يمكن لهذه العناصر النشطة التفاعل مع عديد من المركبات الخلوية؛ مما يؤدى إلى فقدان لون الصبغات، والإضرار بالبروتينات والأحماض النووية، وأكسدة دهون الأغشية البروتوبلازمية. وتؤدى أضرار الأكسدة الشديدة إلى موت الخلايا والأنسجة.

ويعد الكاتاليز catalase الإنزيم الفاعل الرئيسى الذى يعمل على فوق أكسيد الأيدروجين فى البيروكسى زومات peroxisomes، كما يتواجد فى الميتوكوندريا — كذلك — فى النباتات. ويُنتج فوق أكسيد الأيدروجين خلال كثير من العمليات الخلوية، فهو يتم تمثيله كناتج

للتنفس فى الضوء photorespiration، والـ β-oxidation للأحماض الدهنية، وكنتيجة للشدّ البيئى والبيولوجى.

ولقد وجد أن أضرار البرودة فى النباتات تتحقق جزئيًا بواسطة العناصر النشطة فى الأكسدة التى تحدث أضرارًا ثانوية بالأنسجة. فعلى سبيل المثال.. أدى تعريض بادرات الخيار للبرودة فى الضوء إلى حث أكسدة الدهون واستنفاذ مضادات الأكسدة بما فى ذلك الألفا توكوفيرول α-tocopherol، والجلوتاثيون، وحامض الأسكوربيك (عن Kerdnaimongkol & Woodson ١٩٩٩).

ومع زيادة تعريض شتلات الفراولة للبرودة (من الكنترول — حوالى ٢٥ °م — إلى ١٠، و٤، وصفر °م) ازداد معدل إنتاج الإنزيمات المضادة للأكسدة مثل: superoxide dismutase، وascorbate peroxidase، وglutahione reductase، و dehydroascorbate reductase، و monodehydroascorbate reductase. كذلك ازداد محتوى الشتلات من حامض الأسكوربيك (AsA)، مع حدوث زيادة جوهرية فى الـ dehydroascorbate (DHA)، وفى نسبة الـ AsA إلى الـ DHA (Zhang وآخرون ٢٠٠٩).

التأثير الفسيولوجى للحرارة المنخفضة على بعض محاصيل الخضر

الطماطم

إنبات البذور

تتفاوت أصناف وسلالات الطماطم فى قدرتها على الإنبات فى حرارة ١٢ °م أو أقل من ذلك. وقد وجد أن عدم قدرة بذور الطماطم على الإنبات عند هذه الدرجة مرده إلى وجود عوائق فى طبقة الإندوسبرم. وتبين لدى مقارنة بذور سلالة الطماطم PI 1341988 القادرة على الإنبات فى حرارة ١٢ °م، وبذور الصنف UC82 غير القادرة على الإنبات عند هذه الدرجة أن بذور السلالة الأولى التى شُرِّبت بالماء على حرارة ١٢ °م أو ٢٥ °م أظهرت نشاطًا أعلى لإنزيم endomannase عن البذور التى عوملت بطريقة مماثلة من

الصنف UC82. وعندما قورنت ست سلالات ناتجة من التهجين بين السلالة والصنف السابقين، وتختلف فى قدرتها على الإنبات فى الحرارة المنخفضة، وجد ارتباط موجب بين القدرة على الإنبات فى الحرارة المنخفضة ونشاط إنزيم الـ endomannase. وقد تبين — كذلك — أن الزيادة فى نشاط الإنزيم قبل الإنبات كانت أعلى فى الإندوسبرم المحيط بالنقير micropylar endosperm عما فى بقية أنسجة البذرة. وعندما عوملت بذور الطماطم بإنزيم الـ mannase — الذى حُصِلَ عليه من بعض الأنواع البكتيرية التى تعيش فى التربة — ازدادت قدرتها على الإنبات فى كل من الحرارة المعتدلة والمنخفضة. وبالرغم من أن نشاط إنزيم cellulose كان أعلى — كذلك فى — السلالة PI 341988 عما فى بذور الصنف UC82، إلا أن تلك الزيادة حدثت — غالبًا — بعد الإنبات، ولم تكن لها علاقة رئيسية بالقدرة على الإنبات فى الحرارة المنخفضة (Leviatov وآخرون ١٩٩٥).

نمو البادرات

يتأثر نمو بادرات الطماطم بكل من: درجة حرارة الهواء، ودرجة حرارة الوسط الذى تنمو فيه الجذور. ولكل منهما — أى لكل من حرارة الهواء وحرارة الجذور — تأثيراتها الخاصة على النمو النباتى. وقد وجد Maletta & Janes (١٩٨٧) أن معدل النمو النسبى Relative Growth Rate لبادرات الطماطم ينخفض بانخفاض حرارة الهواء إلى ١١°م. وكانت أنسب حرارة جذور لزيادة الوزن الجاف للنبات هى ٢٦,٥°م، مع حرارة هواء ١٦ أو ٢١°م، ولكن عندما انخفضت حرارة الهواء إلى ١١°م كانت حرارة الجذور المناسبة ٣٢°م. وعلى الرغم من ذلك كان معدل النمو النسبى فى هذه الظروف (حرارة هواء ١١°م وحرارة جذور ٣٢°م) أقل ما يمكن؛ أى إن رفع حرارة الجذور (كما قد يحدث فى المزارع المائية) لا يفيد كثيرًا فى تقليل الأثر الضار للانخفاض الكبير فى حرارة الهواء.

دلائل النمو

درس Smeets & Garretsen (١٩٨٦) دلائل النمو: معدل النمو النسبى Relative Growth Rate (اختصارًا: RGR)، ونسبة مساحة الورقة Leaf Area Ratio (LAR)، ومساحة الأوراق Specific Leaf Area (SLA)، ونسبة مساحة الأوراق Leaf Weight Ratio (LWR)، والكفاءة التمثيلية Net Assimilation Rate (NAR) وذلك فى ١٦ صنفًا من الطماطم نُميِّت فى حجرات نمو فى حرارة ١٩°م نهارًا، و١٤، أو ١٠، أو ٦°م ليلاً، مع إضاءة قوتها ٢٤ واط/م٢ لمدة ٨ ساعات يوميًا، وكانت نتائجها كما يلى:

١- حدث انخفاض فى كل من الـ RGR، والـ LAR، والـ SLA، والـ LWR مع الزيادة فى عمر النباتات، وكانت الكفاءة التمثيلية NAR أقل الدلائل تأثرًا، كما كان النقص فى الـ RGR – راجعًا بصورة أساسية – إلى النقص الحادث فى الـ LAR.

٢- حدث انخفاض مماثل فى كل من الـ RGR، والـ LAR، والـ SLA بانخفاض درجة الحرارة، بينما ارتفعت قيمة الـ LWR قليلاً بانخفاض الحرارة. أما الـ NAR فلم تتأثر بالتغيرات فى درجات الحرارة. وكان الانخفاض فى الـ RGR راجعًا – بصورة أساسية – إلى الانخفاض الحادث فى الـ SLA.

٣- وجدت اختلافات معنوية بين الأصناف فى كل من الوزن الجاف الكلى للنباتات، والـ NAR، والـ LAR، والـ SLA، و LWR، لكن لم توجد بينها اختلافات معنوية فى الـ RGR.

٤- وجد ارتباط موجب بين الـ LAR، والـ SLA، كما وجد ارتباط سالب بين الـ NAR وكل من الـ LAR، وSLA.

التغيرات الفسيولوجية

وجد Brüggemann وآخرون (١٩٩٢أ) أن تعريض نباتات الطماطم لإضاءة ضعيفة (٦٠-١٠٠ ميكرومول كوانتا/م٢/ثانية) أثناء تعرضها لحرارة منخفضة (لا يزيد انخفاضها عن ٨ ْم) لعدة أسابيع لم يؤثر فى قدرتها على النمو الطبيعى، حيث تكونت بها أوراق جديدة سريعًا لدى إعادتها إلى ظروف النمو الطبيعية (٢٢ ْم نهارًا، و١٨ ْم ليلاً فى الصوبة)، إلا أن إجمالى النمو النباتى المتراكم تأخر بما مقداره حوالى أسبوع عن نمو النباتات التى لم تعرَّض لمعاملة الحرارة المنخفضة والإضاءة الضعيفة، وكان هذا التأخر فى النمو مُصَاحبًا بتثبيط قوى ودائم فى كفاءة الأوراق المكتملة النمو — التى سبق تعريضها لمعاملة البرودة — على البناء الضوئى. هذا فى الوقت الذى أحدث تعريض النباتات لحرارة ٦ ْم لمدة ثلاثة أسابيع ضررًا مستديمًا بالأنسجة الميرستيمية فى قممها النامية، ولكن أمكن حماية النباتات من هذا الضرر إذا سبقت معاملة الحرارة المنخفضة تقسية النباتات بتعريضها لشدٍ رطوبى عالٍ (أى لظروف نقص الرطوبة الأرضية).

واستكمالاً لهذه الدراسة (Brüggemann وآخرون ١٩٩٢ ب) وُجِدَ أن تعريض بادرات الطماطم لحرارة ٦ ْم وإضاءة ضعيفة أدى إلى توقف تكوين النشا، مع زيادة محتوى الأوراق من السكريات الذائبة من اليوم الأول للمعاملة، واستمرت هذه الزيادة يوميًّا إلى أن وصل تركيز السكريات الذائبة إلى ثمانية أمثال تركيزها الطبيعى فى النباتات غير المعاملة، وذلك فى خلال أسبوعين من المعاملة. وكانت هذه التغيرات فى تركيز السكريات أقل حدة فى النباتات التى عُرِّضت لحرارة ٨ ْم أو ١٠ ْم. وخلال فترة التعرض للبرودة تراكم كل من الـ glucose-6-phosphate والـ fructose-6-phosphate إلى ما مقداره ١٦ ملليمولارًا. كذلك نقص تركيز الـ Rubisco بصورة دائمة (لا رجعة فيها) فى الأوراق التى عوملت بالبرودة. ويعتقد الباحثون أن تراكم السكريات الذائبة ثبط استمرار التفاعلات الحيوية الطبيعية، بينما

كان لنقص الـ Rubisco دورًا جوهريا فى الانخفاض الشديد والدائم فى كفاءة البناء الضوئى فى الأوراق التى تعرضت للبرودة لفترة طويلة.

وفى محاولة لدراسة دور الدهون ومضادات الأكسدة القابلة للذوبان فى الماء فى توفير الحماية من أضرار البرودة.. قارن Walker & McKersie (١٩٩٣) نباتات الطماطم — الحساسة للبرودة — بنباتات النوع البرى *S. habrochaites* التى تتحمل البرودة، ووجدا أنهما يتساويان فى مستوى كل من الألفا توكوفيرول alpha-tocopherol، وحامض الأسكوربيك ascorbic acid، والجلوتاثيون glutathione، وفى نسبتها المختزلة: المؤكسدة فى الأوراق التى لم تتعرض للبرودة. هذا إلا أن تعريض النباتات لحرارة ٢°م لمدة ٧٢ ساعة أحدث نقصًا فى مستوى كل من الألفاتوكوفيرول والنسب المختزلة: المؤكسدة من حامض الأسكوربيك والجلوتاثيون فى نباتات الطماطم بدرجة أكبر بكثير مما حدث فى نباتات النوع *S. habrochaites*، التى استجابت لمعاملة البرودة بزيادة محتواها من حامض الأسكوربيك الكلى، والمواد الكاروتينية، والجلوتاثيون وجميعها من مضادات الأكسدة التى تشكل عناصر للحماية من أضرار البرودة.

الخيــار

تعرف أضرار البرودة بأنها الأضرار التى تنتج عن تغيرات فسيولوجية وكيميائية حيوية يحدثها التعرض لحرارة منخفضة تزيد عن درجة التجمد وتقل عن ١٢°م.

ومن أهم أضرار الحرارة المنخفضة فى الخيار — والقرعيات بصورة عامة — ضعف إنبات البذور، وما يترتب على ذلك من غياب نسبة كبيرة من الجور (مواضع الزراعة)، وضعف النمو النباتى، والذبول، والتحلل necrosis، وتأخير الحصاد.

وتعتبر جذور البادرات النابتة شديدة الحساسية للحرارة المنخفضة، حيث تقل قدرتها على امتصاص الماء، بسبب الضعف الذى يحدث فى قدرة توصيل الجذور فى الحرارة المنخفضة، ويزداد فيها التسرب الأيونى بسبب الخلل الذى يحدث فى وظائف

الأغشية الخلوية، ويضعف نموها بسبب الاختلال الذى يحدث فى التوازن القائم بين إنتاج الخلايا وتميزها (عن Reyes & Jennings ١٩٩٤).

وتوصل Russo & Biles (١٩٩٦) من دراستهما على صنفين من الخيار أن انخفاض نسبة إنبات البذور فى الحرارة المنخفضة قد يكون مرده إلى التسرب الأيونى للعناصر، أو عدم تمثيل البروتينات، أو حدوث تغير فى طبيعة البروتينات المرتبطة بالإنبات ونمو الجذير، أو كل هذه العوامل مجتمعة.

وتتوفر اختلافات وراثية بين أصناف وسلالات الخيار فى قدرة بذورها على الإنبات فى الحرارة المنخفضة.

وقد أوضحت دراسات Hariyadi & Parkin (١٩٩٣)- التى عرّضا فيها بادرات الخيار وهى فى عمر أسبوع واحد لحرارة ٤ °م لمدة يوم واحد إلى ستة أيام — أن فقد بادرات الخيار لحيويتها بدأ بعد يومٍ واحدٍ من التعرض للحرارة المنخفضة، واكتمل خلال أربعة أيام، واتضح أن لأضرار البرودة علاقة بشدّ أكسدة Oxidative stress ينشأ لدى التعرض للحرارة المنخفضة.

كما وجد أن تركيز حامض الأبسيسيك Abscisic Acid ازداد تلقائيًّا فى نباتات الخيار لدى تعرضها لظروف قاسية سواء أكانت حرارة عالية (٣٨°م لمدة يوم واحد)، أم حرارة منخفضة (١٠ °م لمدة خمسة أيام)، أم ملوحة عالية (٠,٩٪ أو ١,٦٪ محلول كلوريد صوديوم لمدة ٢٤ ساعة) (Talanova & Titov ١٩٩٤).

وكانت بادرات الخيار — وكذلك الكوسة — أكثر حساسية لأضرار البرودة على حرارة ٢، و٦ °م عنها فى حرارة ١٠، و١٥ °م، وتبين ذلك من مدى قدرة البادرات على استعادة نموها الطبيعى لدى نقلها لحرارة ٢٦ °م بعد معاملة البرودة. وقد نقص النمو الجذرى بعد ٤٨ ساعة من التعرض لمعاملات البرودة. وتمكنت البادرات التى عرضت لحرارة ١٠، و١٥ °م من استمرار النمو الجذرى فى تلك الدرجات، وبعد نقلها لحرارة

٢٦ °م، هذا إلا أن البادرات التى عرضت لحرارة ١٠ °م ظهر بها تلون بنى فى القمة النامية للجذور؛ الأمر الذى لم يحدث عندما عرضت البادرات لحرارة ٢ °م. وبعد ٩٦ ساعة من معاملات البرودة حدثت أضرار دائمة فى حرارة ٢، و٦ °م، ولم يمكن للبادرات استعادة نموها الطبيعى لدى إعادتها لحرارة ٢٦ °م. وقد ازداد التسرب الأيونى من جذور كل من الخيار والكوسة بعد ٤٨ ساعة من تعرضها لحرارة ٢ °م، وكان الفقد أكبر فى البوتاسيوم، والصوديوم، والفوسفات عما فى المغنيسيوم، والكلورين، والكبريتات، بينما لم يحدث تسرب لأيون الكالسيوم، كما لم يحدث أى تسرب أيونى يختلف عن الكنترول فى حرارة ١٠ أو ١٥ °م (Reyes & Jennings ١٩٩٤).

كذلك وجد Dang وآخرون (١٩٩٧) أن التسرب الأيونى ازداد من أوراق الخيار بانخفاض درجة الحرارة، وخاصة بانخفاضها عن ٤ °م وحتى الصفر المئوى، وكان التسرب أكبر فى الأوراق الأبعد عن قاعدة النبات عما فى الأوراق القاعدية.

ويتراكم البرولين الحر free proline فى أوراق بادرات الخيار عند تعرضها لأضرار البرودة، ويزداد التراكم باضطراد الانخفاض فى درجة الحرارة من ٦ °م إلى صفر °م، وبزيادة فترة التعرض للحرارة المنخفضة من ١٢ إلى ٧٢ ساعة. وكان تراكم البرولين فى أوراق الخيار التى عرضت لحرارة صفر أو ٣ °م أعلى مما حدث فى أوراق الجورد *Cucurbita ficifolia* التى عرضت لنفس الظروف. ويبدو مما تقدم بيانه أن تراكم البرولين يرتبط بعملية تأقلم النبات على شدّ البرودة (Wang & Cui ١٩٩٦).

وقد صاحب تعريض بادرات الخيار لحرارة ٦ °م لمدة خمسة أيام مع إضاءة ٥ كيلولكس klx لمدة ١٦ ساعة يوميًا إلى تثبيط عملية البناء الضوئى بصورة نهائية فى نهاية فترة المعاملة، التى أدت — كذلك — إلى نقص محتوى الأوراق من الرطوبة ونقص عدد الثيلاكويدات thylakoids لكل جرانا granum، بينما ازداد محتوى السكر، وتضاعفت المساحة التى احتلتها حبيبات النشا فى مقاطع البلاستيدات الخضراء خمس مرات.

يؤدى تعرض المجموع الجذرى للخيار لدرجة حرارة تتراوح بين ١٢ و١٤ ْم إلى تثبيط نموه بشدة، بينما لا يحدث ذلك فى الجورد *Cucurbita ficifolia* — الذى يعرف بالاسم الإنجليزى figleaf gourd، والذى يشيع استخدامه كأصل للخيار فى اليابان. ففى هذا النوع، تحدث زيادة فى النمو الجذرى عند انخفاض حرارة الجذور عن ٢٠ ْم، بينما يقل النمو الجذرى فى الخيار جوهريًّا تحت هذه الظروف. ويتم التغلب على هذا التأثير السلبى للحرارة المنخفضة على الخيار — إلى حد كبير — بتطعيم الخيار على *C. ficifolia*.

وتوجد ارتباطات معنوية سالبة بين النمو الجذرى ومحتوى الأوراق من كل من النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم. وينخفض امتصاص جذور الخيار من الماء والعناصر المغذية فى الحرارة المنخفضة، بينما لا يحدث ذلك فى الجورد. كما وجد أن محتوى الجذور من الدهون الكلية والفوسفور المرتبط بالدهون يزداد بانخفاض درجة حرارة الجذور فى كل من الخيار والجورد، ولكن تلك الزيادات كانت أكبر دائمًا فى الجورد عما فى الخيار فى كل درجات الحرارة. وازدادت نسبة حامض اللينولينك linolenate بانخفاض درجة حرارة الجذور فى الجورد إلى أن وصلت إلى ٥٧٪ من الأحماض الدهنية الكلية فى حرارة ١٢ ْم، بينما لم تحدث فى الخيار سوى زيادة طفيفة فى نسبة هذا الحامض عن نسبته الطبيعية فى حرارة ١٥ ْم. وبذا.. فإنه يبدو أن تمثيل الفوسفوليبيدات phospholipids ودرجة عدم تشبع الأحماض الدهنية ترتبطان بالاختلافات فى قدرة جذور كل من الخيار والجورد على تحمل الحرارة المنخفضة.

وبالإضافة إلى ما تقدم بيانه فإن محتوى الجذور من السيتوكينين يزداد فى الحرارة المنخفضة فى الجورد، بينما ينخفض فى الخيار (عن Kanahama ١٩٩٤).

كما أوضحت دراسات Reyes & Jennings (١٩٩٧) أن الجذور التى عرضت لحرارة ٢ ْم كان امتصاصها للأكسجين أقل جوهريًّا من تلك التى عرضت لحرارة ١٠ أو

١٥ °م. وأدى تعريض النباتات لحرارة ٢٦ °م لمدة ٢٤ ساعة عقب تعريضها لحرارة ٢ °م إلى زيادة امتصاص جذورها للأكسجين، وازداد تأثير المعاملة الحرارية مع زيادة فترة معاملة البرودة التى سبقتها حتى ٩٦ ساعة.

الفاصوليا

النمو النباتى

يؤدى تعرض بادرات الفاصوليا للبرودة إلى إحداث شد رطوبى بها فى خلال ٢٠-٣٠ ساعة. ولكنها تستعيد امتلائها بعد ذلك. وقد تبين أن تركيز حامض الأبسيسيك ABA يزداد أثناء التعرض للبرودة، ويصل إلى تركيزات أعلى على الأوراق المركبة الثلاثية عما فى الأوراق البسيطة الأولية، وكذلك فى الجذور فى مرحلة نمو الأوراق المركبة عما فى مرحلة نمو الأوراق الأولية (Mori وآخرون ١٩٩٥).

ويؤثر تعرض نباتات الفاصوليا للحرارة المنخفضة (٤ °م لمدة ١٢ ساعة ليلاً) — أثناء اكتمال تكوين البذور — يؤثر ذلك كثيرًا على النشاط الفسيولوجى فيها، حيث يضعف النشاط الأيضى للأوراق، ومعدل البناء الضوئى فيها، وينخفض محصول البذور، ويقل وزنها، بينما يزداد محتوى البذور من البروتين فى بعض الأصناف ولا يتأثر فى أصناف أخرى، وتتباين شدة تلك التأثيرات كثيرًا باختلاف الأصناف (Pena-Valdivia وآخرون ١٩٩٤).

امتصاص الفوسفور

يزداد امتصاص جذور الفاصوليا للفوسفور بارتفاع درجة حرارة التربة فى محيط الجذور من ١٥ إلى ٣٥ °م، ويبلغ الـ Q_{10} لعملية امتصاص الفوسفور فى ذلك المدى الحرارى ١,٥، أى أن معدل امتصاص العنصر يزداد بمقدار ٥٠٪ مع كل ارتفاع قدره ١٠ درجات مئوية بين ١٥، و٣٥ °م. وأدى توفر الحديد بتركيز ٥ ميكرومول/لتر فى المحاليل المغذية إلى إحداث نقص معنوى فى امتصاص الفوسفور (Raeini-Sarjaz & Barthakur ١٩٩٥).

البناء الضوئى

ازداد معدل البناء الضوئى فى الفاصوليا بارتفاع درجة الحرارة من ٢٠ إلى ٢٥°م، وقدر الـ Q_{10}، لتلك الزيادة بنحو ١,٩. ومع استمرار الزيادة فى الحرارة من ٢٥ إلى ٣٠°م انخفض الـ Q_{10} وربما كان ذلك مردة إلى تقييد الحرارة العالية إنتاج مستقبلات لثانى أكسيد الكربون. وبالمزيد من الارتفاع فى الحرارة من ٣٠ إلى ٣٥°م ازداد الانخفاض فى الـ Q_{10} نتيجة لعدم قدرة الثيلاكويدات thylakoids على استمرار توفير إمداد كافٍ من الـ NADPH (Pastenes & Horton ١٩٩٥).

وسائل الحد من أضرار الحرارة المنخفضة

معاملات لتحسين إنبات البذور

تتعرض بذور خضر الجو الدافئ، مثل الطماطم والفلفل والباذنجان، وكذلك بذور الذرة السكرية والفاصوليا واللوبيا لأضرار البرودة أثناء إنباتها. كذلك فإن البذور التى تُعد من خضر المواسم الباردة، مثل بنجر المائدة والجزر والبصل يكون إنباتها بطيئًا وضعيفًا فى الحرارة المنخفضة.

وترجع الأضرار التى تحدث أثناء تشرب البذور بالماء (وهى التى تُعرف باسم imbibitional injury) إلى سرعة تشرب البذور بالماء، وتكون تلك الأضرار أشد فى الحرارة المنخفضة.

ولقد اتبعت عدة وسائل لتقليل أضرار الحرارة المنخفضة على إنبات البذور، منها ما يلى:

١- زيادة مستوى الرطوبة بالبذور قبل زراعتها، بتركها لعدة أيام فى هواء رطب.

٢- استخدام بذور ذات أغلفة صلدة لإبطاء تشربها بالماء.

٣- تغليف البذور بمواد طاردة للرطوبة.

٤- تعريض البذور لمحاليل ذات ضغط أسموزى عالٍ، مثل تلك التى تحتوى على بوليثيلين جليكول أو أملاح.

٥- كمر البذور فى مواد صلبة مُرطبة خاليةُ من الأملاح (مثل الفيرميكيوليت) والطين الكلسى calcinated clay)، وهى الطريقة التى عُرفت بالأسماء: moisturizing، وsolid matrix priming، و matriconditioning. وتُحدث هذه الطريقة تغيرات فيزيائية وفسيولوجية وبيوكيميائية بالبذور تُحسِّن من نمو الجنين وتجعله أكثر تحملاً للحرارة المنخفضة (Khan وآخرون ١٩٩٥).

معاملة الصدمة الحرارة للبادرات

وجد أن حساسية جذير بادرات الذرة والخيار وفاصوليا المنج والطماطم للبرودة (معبرًا عنها بتثبيط استطالة الجذير على ٢٥°م بعد تعريض البادرات لحرارة ٢,٥°م) كانت أكثر عندما كان الجذير بطول ٥-٧ مم عما كانت عليه عندما كان بطول ١مم. وبالمقارنة.. عانت بادرات البامية بنفس القدر من تثبيط نمو الجذير (٧٠٪ - ٩٠٪) عندما كان الجذير بأى طول بين ١ و ٧ مم. وقد انخفضت القدرة على تكوين الجذور الجانبية فى جميع الأنواع بزيادة فترة التعرض للبرودة. وأدى تعريض البادرات لصدمة حرارية (٤-١٠ دقائق على ٤٥°م) إلى زيادة قدرة جميع الأنواع على تحمل البرودة باستثناء البامية التى لم تنخفض فيها أضرار البرودة جوهريا بزيادة شدة الصدمة الحرارية أو تقليل شدة التعرض للبرودة (درجة الحرارة والمدة) (Rab & Saltveit ١٩٩٦).

معاملات كيميائية للنباتات

لجأ كثير من الباحثين إلى محاولة الحد من أضرار الحرارة المنخفضة — الأعلى من درجة التجمد — بمعاملة النباتات بمختلف المركبات الكيميائية، كما يلى:

١- كان كل من الـ SADH، والـ CCC أكثر المركبات الكيميائية استخدامًا لهذا الغرض، ولكن ذلك كان خلال الستينيات، ولم تستمر محاولات استخدام هذه المركبات

كثيرًا بعد ذلك. ومن بين المحاصيل التى أمكن زيادة قدرتها على تحمل البرودة بالمعاملة بهذين المركبين كل من: الكرنب، والطماطم، وأشجار الكمثرى الصغيرة، والفراولة، والأزاليا، والراسبرى، والقمح. وقد استخدمت لذلك تركيزات عالية (تراوحت بين ١٠٠٠ و١٠٠٠٠ جزء فى المليون) إما بطريق الرش، وإما مع مياه الرى. وتعد معاملة بذور القمح بالـ CCC فى روسيا الاتحادية - لزيادة قدرته على تحمل البرودة - أمرًا روتينيا.

٢- استخدم كذلك الماليك هيدرازيد Maleic Hydrazide لزيادة تحمل الصقيع فى أشجار الموالح؛ لأنه يقلل من سقوط الأوراق والبراعم، كما استخدم أيضًا لتحقيق نفس الهدف فى كل من الراسبرى، والعنب، والتوت. ولكن يعيب الماليك هيدرازيد إحداثه لتشوهات فى النباتات التى تُعامل به.

٣- أمكن أيضًا زيادة قدرة البسلة والفجل على تحمل البرودة بالمعاملة بالبنزيل أدنين benzyladenine؛ وهو سيتوكينين cytokinin مُخلّق. وربما يُحدث البنزيل أدنين تأثيره من خلال تحريكه لنشطات الأقلمة؛ مثل المثبطات الشبيهة بحامض الأبسيسك، أو السكريات المركبة. وبصورة عامة.. فإن السيتوكينين يزيد القدرة على تحمل الانحرافات الحادة فى درجة الحرارة، سواء أكانت بالارتفاع، أم بالانخفاض.

٤- كما ذكر أن المركبات المتعددة الأمينات Polyamines (مثل الـ long-chain alkylene diamines) تحدّ من أضرار الصقيع فى عديد من النباتات؛ مثل: القمح، والأرز، والشعير، والذرة، والدُخن، وفول الصويا، وفاصوليا الليما، والفاصوليا العادية، والفول السودانى، والسبانخ، والخس، والطماطم، والتوت، والتبغ، وأشجار الفاكهة.

٥- ومن المركبات الأخرى التى ذُكر أنها أفادت فى زيادة القدرة على تحمل البرودة ما يلى (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

المركب	النباتات التى استجابت له
2-amino-6-methy benzoic acid	القمح – التبغ – العنب
Naphthalene acetic acid	البرتقال
5-chloro-4-quinolic carboxylic acid	الكوسة
Mepiquat chloride	الموالح

٦– ذكر أن مركب مفليودايد Mefluidide يخفض أضرار البرودة فى كل من الذرة والأرز.

٧– أدى استعمال الترايازولات Triazoles إلى زيادة القدرة على تحمل أضرار البرودة فى النباتات.

٨– عرف تجريبيًا أن القدرة على تحمل أضرار البرودة تزداد بالمعاملة بحامض الأبسيسك Abscisic acid، قبل التعرض للبرودة بنحو ٦ ساعات.

٩– كذلك أعطت النظائر التربينودية terpenoid analogues لحامض الأبسيسك نتائج مماثلة مع كل من الطماطم والخيار.

١٠– أدت معاملة نباتات الفاصوليا – وقت تعرضها لحرارة ٤°م – بمركب GLK-8903 (وهو مركب تجريبى يتكون من هدرجة أحد الكحولات المستخلصة من النباتات) إلى حماية النباتات من أضرار البرودة. وتمثلت الحماية فى خفض التسرب الأيونى electrolyte leakage، بتقليله للأضرار التى تحدث للأغشية الخلوية عند تعرضها للبرودة (Flores-Nimedez وآخرون ١٩٩٣). وتحدث الحماية من البرودة بمجرد المعاملة بالمركب، بخلاف الحالة عند المعاملة بحامض الأبسيسك التى تتطلب مرور ٦ ساعات – على الأقل – بعد المعاملة؛ لكى تكون فعالة فى حماية النباتات من البرودة.

ويستدل من دراسة لاحقة (Zhang وآخرون ١٩٩٤) على أن للحماية التى توفرها المعاملة بمركب GLK-8903 (بتركيز ٠,٥٪) للفاصوليا علاقة بقدرة المركب على الحد من

الزيادة — التى تحدثها الحرارة المنخفضة — فى أكسدة الفوسفوليبيدات Phospholipids التى توجد بالأغشية الخلوية.

معاملات خاصة لمحاصيل معينة

نقدم — فيما يلى — عرضًا لتوصيات المعاملات التى أجريت لمحاولة الحد من أضرار البرودة فى عدد من محاصيل الخضر.

الطماطم

الأقلمة

على الرغم من أن الطماطم من النباتات الحساسة للبرودة، والتى لا يمكن أقلمتها لتحمل البرودة بتعريض شتلاتها لحرارة منخفضة.. إلا أنه يمكن توفير أقلمة جزئية للنباتات بتعريضها لحرارة أعلى بقليل من تلك التى تحدث عندها أضرار البرودة. كذلك يفيد تعريض البادرات لنقص الرطوبة الأرضية مع زيادة الرطوبة النسبية إلى ١٠٠٪ فى الحماية من أضرار الصقيع بعد الشتل. وقد وجد Shen & Li (١٩٨٣) أن تعريض شتلات الطماطم لحرارة ٢٠°م نهارًا، و١٥°م ليلاً جعلها قادرة على تحمل معاملات أقلمة تدرجت فى انخفاض الحرارة من ٥°م إلى ٢°م، ثم إلى الصفر المئوى. وعند الشتل.. تحملت هذه النباتات حرارة بلغت -٣°م، بينما تجمدت نظيراتها — التى لم تسبق أقلمتها — على حرارة - ١,٥°م.

معاملات كيميائية

- يذكر Singer وآخرون (١٩٩٣أ) أن رش نباتات الطماطم بالمركب الكودى GLK-8903 (المُنتج بهدرجة كحول مستخلص من مادة نباتية) بتركيز ٠,٥٪ أو ١٪ قبل تعريضها لحرارة ٥°م لمدة ٧ أيام أدى إلى زيادة تحملها للبرودة، بحدوث تسرب

أيونى فيها أقل مما حدث فى نباتات الشاهد. وبعد الشتل.. كانت النباتات المعاملة بالمركب أطول، وأبكر إزهارًا بنحو ٦-٧ أيام وأكثر محصولاً من النباتات غير المعاملة. وقد حصل Singer وآخرون (١٩٩٣ب) على نتائج أخرى مشابهة لما سبق بيانه عندما رشت النباتات - كذلك - بمركب المفليوديد mefluidide بتركيز ٥ أو ١٠ أجزاء فى المليون قبل تعريضها لمعاملة البرودة.

• وبينما أدى نقع بذور القمح فى مركب يونى كونازول uniconazole (وهو ترايازول triazole شديد الفاعلية) إلى زيادة تحمل البادرات الناتجة للحرارة المنخفضة، فإن المعاملة المماثلة لبذور الطماطم لم تكن لها قيمة عملية فى حماية البادرات الناتجة من أضرار التجمد (Davis وآخرون ١٩٩٠).

• دُرس تأثير المعاملة بثلاثة منظمات للنمو، هى: حامض الأبسيسك، والبوترسين putrescine، والـ 2,4-epibrassinolide على الحماية من أضرار البرودة فى بادرات صنفين من الطماطم، هما: Zhongshu 6 الحساس للبرودة، و SANTIAM المتحمل لها. وقد تبين أن المعاملة بأى من تلك المركبات- بالتركيز المناسب - يمكن أن تُخَفِّض - بكفاءة - من التدهور فى معدل البناء الضوئى، ومن محتوى الكلوروفيل فى الأوراق الناشئ عن التعرض للحرارة المنخفضة فى كلا الصنفين، ويمكن أن تُحفِّز حدوث زيادة فى المركبات العضوية الذائبة: البرولين والسكر. وقد كان أفضل تركيز للمعاملة هو ١,٠ مللى مول، و٠,١ مللى مول، و٠,٠٢ ميكرومول للمركبات الثلاثة، على التوالى (Jiang وآخرون ٢٠١٢).

• وعندما عوملت نباتات الطماطم - النامية تحت ظروف الحرارة المنخفضة ليلاً - بتركيز ٠,٤ مللى مول من حامض السلسيلك acetyl salicylic acid، وهى بعمر أربعة أسابيع، ثم كل خمسة أيام، فإن تلك المعاملة قللت من الانخفاض فى محصول العنقودين

الأول والثانى جراء الحرارة المنخفضة، وصاحب ذلك انخفاض فى الـ malondialdehyde بالأوراق، وزيادة فى محتواها من البرولين وفى النشاط المضاد للأكسدة فيها، وانخفاض فى نفاذية الأغشية الخلوية. ومن بين الإنزيمات التى ازداد نشاطها بالمعاملة السوبر أوكسيد دسميوتيز والبيروكسيديز (Zhang وآخرون ٢٠١٣).

المعاملة بمضادات النتح

على الرغم من أن الدعاية لمضادات النتح Antitranspirants تؤكد أنها توفر حماية للنباتات من الصقيع على اعتبار أنها توفر عازلاً بين النوبات الثلجية التى تتكون خارجيًّا على النباتات وبين المحتوى المائى للنبات، إلا أن ذلك لم يؤكَّد علميًّا. ويُستَدل من دراسات Perry وآخرين (١٩٩٢) التى عاملو فيها نباتات الطماطم والفلفل بمضادين للنتح، هما: Frost Free (يحتوى على ٥٠٪ polyoxyethlene، و٥٠٪ propylene glycol)، و Vapor Gard (يحتوى على ٩٦٪ pinolene–terpenic polymer– و٤٪ مادة خاملة) أن المعاملة بأى منهما لم توفر أى حماية للنباتات من الصقيع، كما لم تؤثر على المحصول لا فى الظروف العادية ولا تحت ظروف التعرض للصقيع.

التطعيم على أنواع برية متحملة للبرودة

أدى تطعيم صنف الطماطم Money Maker على السلالة LA1777 من النوع البرى *Solanum habrochaites* (وهى التى تنمو طبيعيًّا على ارتفاعات كبيرة فى موطنها الأصلى، وتعد متحملة للحرارة المنخفضة).. أدى ذلك إلى زيادة معدل نموها الخضرى بمقدار ٢٦٪ على حرارة ٢٥/٢٥ °م (هواء/جذور)، و١١٪ على حرارة ١٥/١٥ °م. وقد تميز هذا التطعيم بزيادة كتلة النمو الجذرى، وخاصة فى حرارة جذور ١٥ °م، علمًا بان تعريض

الجذور للحرارة المنخفضة قلل بشدة من النمو الجذرى للطماطم دون التأثير على النمو الجذرى للنوع البرى. ويُستفاد مما تقدم أن ضعف النمو الخضرى للطماطم فى الحرارة المنخفضة مرده – إلى حد كبير – إلى ضعف نموها الجذرى فى تلك الظروف، وأن تطعيم الطماطم على ذلك النوع البرى يفيد فى التغلب على تلك المشكلة (Venema وآخرون ٢٠٠٨).

وكان الشد التأكسدى فى جذور نباتات الطماطم التى طُعِّمت على السلالة LA1777 من *S. habrochaites* أقل مما فى تلك التى طعمت على الطماطم، وذلك عندما عُرِّضت لحرارة معتدلة (١٧ °م) أو منخفضة (١٤,٦ °م)، كما أحدث التطعيم على السلالة LA1777 تحسنًا فى مستوى المركبات المضادة للأكسدة فى النموات الخضرية للطماطم النامية فى حرارة منخفضة (Ntatsi وآخرون ٢٠١٤).

إن زيادة قدرة تحمل الطماطم للبرودة بواسطة التطعيم على أصول برية من الأنواع القريبة متحملة للبرودة يمكن أن يوفر حماية للنباتات فى الزراعات الحقلية ويقلل من تكاليف التدفئة فى البيوت المحمية. ويبدو أن الهرمونات النباتية تلعب دورًا فى تحمل الطماطم للبرودة؛ الأمر الذى يتعين الاهتمام به عند اختيار الأصل المناسب لكل طعم. وفى دراسة أجريت واستخدم فيها تطعيمات وتطعيمات عكسية لطماطم قياسية مع أخرى مطفرة ينقصها القدرة على تمثيل أو هدم حامض الأبسيسك أو السيتوكينين أو حامض السلسيلك، أو قليلة الحساسية للإثيلين أو للأكسين، بدا أن حامض الأبسيسك يُسهم فى تعزيز تحمل الطماطم للحرارة المنخفضة (١٤/١٧ °م)، وفى التحكم غير المباشر فى مستوى الإثيلين الداخلى، بينما وجد أن إندول حامض الخليك وحامض السلسيلك بالأوراق يحفزان استطالة النمو الخضرى لنباتات الطماطم النامية فى ظروف الحرارة المنخفضة، علمًا بأن الحرارة المنخفضة أنقصت – بشدة – من

معدل استطالة النموات الخضرية ونمو الأوراق فى جميع المعاملات مقارنة بالوضع فى الحرارة المثلى (١٨/٢٢°م) (Ntatsi وآخرون ٢٠١٣).

تحسين عقد الثمار بإحداث اهتزازات فى العناقيد الزهرية

تحتاج نباتات الطماطم فى الزراعات المحمية شتاءً إلى هز العناقيد الزهرية بآلة خاصة مرة واحدة على الأقل كل يومين لضمان عقد الثمار بصورة جيدة، ولا يلزم إجراء ذلك للنباتات النامية صيفًا، وربما كان ذلك بسبب اهتزاز النباتات بصورة طبيعية عند إجراء عملية التهوية أو التبريد صيفًا، وجفاف حبوب اللقاح المنتجة صيفًا بالمقارنة بتلك المنتجة شتاءً، فتكون الأولى مفردة وخفيفة، بينما تكون الثانية متكتلة ولزجة؛ مما يستدعى هز الأزهار للمساعدة على التلقيح. ويفضل إجراء عملية الهز خلال منتصف النهار، كما تزداد فاعليتها عندما تكون الرطوبة النسبية حوالى ٧٠٪، ويتراوح المجال المناسب من ٥٠٪–٩٠٪. ولا تساعد الرطوبة الأقل من ذلك على التصاق حبوب اللقاح بمياسم الأزهار بصورة جيدة، بينما تؤدى الرطوبة الأعلى من ذلك إلى بقاء حبوب اللقاح داخل المتوك (عن Picken ١٩٨٤).

تساعد عملية الاهتزاز على انتقال حبوب اللقاح إلى مياسم الأزهار، وهو أمر مهم بالنسبة لعقد الثمار عند نقص إنتاج حبوب اللقاح تحت ظروف الحرارة المنخفضة شتاء. وإذا لزمت المعاملة بمنظمات النمو لأجل تحسين العقد، فإن ذلك يجب أن يجرى بعد هزّ العناقيد الزهرية بنحو يومين، حتى لا تتعارض منظمات النمو مع نمو الأنابيب اللقاحية.

المعاملة الحرارية للثمار

أدى تعريض ثمار الطماطم للهواء الساخن على حرارة ٣٨°م إلى زيادة إنتاج الثمار من كل من الإنزيم arginase (المسئول عن إنتاجه الجين LeARG1) ونشاطه (المسئول عنه الجين LeARG2)، وكان أكبر حث لنشاط الإنزيمين عندما كانت المعاملة الحرارية لمدة ١٢ ساعة، وصاحب ذلك خفض لأضرار البرودة بالثمار، تمثل فى انخفاض فى دليل أضرار البرودة الظاهرى، وفى التسرب الأيونى من الثمار وفى محتواها من الـ malondialdehyde أثناء التخزين البارد. كذلك أدت المعاملة الحرارية إلى إحداث زيادة فى نشاط كل من السوبر أوكسيد دسميوتيز superoxide dismutase، والكاتاليز catalase، والأسكوربيت بيروكسيديز ascorbate peroxidase، كما ثبطت نشاط البيروكسيدير peroxidase، وحفّزت تراكم الأرجنين والبرولين والبوترسين (Zhang وآخرون ٢٠١٣).

الخيــار

المعاملات الحرارية للباورات والنباتات

تتأقلم بادرات الخيار على الحرارة المنخفضة الأقل من ١°م بتعريضها مسبقًا لدرجات حرارة منخفضة تتراوح بين ٣، و١١°م، وأفضل حرارة للأقلمة ليلاً هى ٦°م عندما تكون الحرارة نهارًا ٢٠°م؛ ففى هذه الظروف.. كانت النباتات المؤقلمة أقل تعرضًا للأضرار عندما عرضت بعد أقلمتها لحرارة تقل عن ١°م لمدة ٤٠ ساعة؛ حيث قل فيها التسرب الأيونى، وتأخّر ذبول أوراقها، وازداد فيها معدل البناء الضوئى عما فى النباتات التى لم تسبق أقلمتها (Yang & Shen ١٩٩٢). كما وجد أن النباتات التى أقلمت فى حرارة منخفضة ٦°م كانت أقل طولاً، وأسرع إزهارًا بمقدار ٥ أيام، وأعلى محصولاً من النباتات التى لم تؤقلم (Singer وآخرون ١٩٩٣).

وقد ازداد التسرب الأيونى من الأوراق الفلقية للخيار لدى تعريضها لحرارة ٢,٥°م لمدة ٦ أيام، بينما لم يحدث هذا التسرب فى حرارة ١٣°م. وأدى تعريض الأوراق الفلقية

لحرارة ٣٧ °م لمدة ٦ ساعات قبل معاملة الحرارة المنخفضة إلى خفض التسرب الأيونى منها بنسبة ٤٠٪ لدى تعريضها لحرارة ٢,٥ °م لمدة ١٥ يومًا، بينما أدت معاملتها بالحرارة العالية لمدة ١٨ ساعة مع ١٥٪ ثانى أكسيد كربون إلى خفض التسرب الأيونى منها بنسبة ٥٠٪. وقد حدثت تغيرات فى محتوى الأوراق الفلقية من البولى أمينات من جرّاء معاملة البرودة: فمثلاً.. ازداد محتواها من البوتريسين putrescine بمقدار الضعف، ونقص محتواها من الأسبرمين Spermine، بينما ظل محتواها من الأسبرميدين spermidine ثابتًا فى حرارة ٢,٥ °م لمدة ١٥ يومًا. وأدى تعريض الأوراق الفلقية لحرارة ٣٧ °م إلى إحداث زيادة ملحوظة فى محتواها من البوترسين والاسبرميدين، مع زيادة طفيفة فى محتواها من الاسبرمين (Sanchez وآخرون ١٩٩٥). وقد حصل Fan وآخرون (١٩٩٦) على نتائج مماثلة لتلك التى أسلفنا بيانها فى دراسة أجريت على ثمار الخيار، وتبين منها أن مستوى البوترسين ازداد فى الثمار بعد ثلاثة أيام من تعريضها لحرارة ٢ °م، وأن تلك الزيادة ارتبطت بظهور أعراض البرودة.

المعاملات الكيميائية للبادرات والنباتات

- وجد أن رش نباتات الخيار بمحلول ملحى من كلوريد الصوديوم أو كلوريد البوتاسيوم بتركيز ٥٠ مللى مول، أو كلوريد الكالسيوم بتركيز ٢٥ مللى مول، أو كلوريد الزنك بتركيز ١٠ مللى مول قبل تعريض النباتات لحرارة ٦ °م ليلاً ونهارًا لمدة ٧ أيام أدى إلى زيادة تحملها لأضرار البرودة، حيث أدت المعاملات إلى خفض التسرب الأيونى من الأوراق، كما احتوت النباتات المعاملة على تركيزات أعلى من الكلوروفيل عن النباتات غير المعاملة.

- وأدى تعريض بادرات الخيار لأبخرة عدد من الكحولات (٣٢٠ مللى مول ميثانول وإيثانول، وبروبانول، وبيوتانول، وبنتانول) أثناء تعرضها للبرودة على حرارة ٢,٥ °م لمدة خمسة أيام .. أدى ذلك إلى زيادة تحملها لأضرار البرودة، وكانت السويقة

الجنينية السفلى هى أكثر أجزاء النبات حساسية لأضرار البرودة. ويبدو أن الكحول يقلل أضرار البرودة من خلال إغلاقه للثغور (Saltveit ١٩٩٤).

- وقد أدى تعريض بذور الخيار بعد ٢٤ ساعة من إنباتها — لحرارة منخفضة مقدارها ٢,٥ْم لمدة ٦٠ ساعة، ثم نقلها بعد ذلك إلى حرارة مقدارها ٢٥ْم لمدة ٧٢ ساعة إلى ضعف شديد فى نمو الجذير حيث ازداد طوله من ٠,٢ سم عند بداية معاملة التعريض لحرارة ٢,٥ْم إلى ٠,٤–٠,٦ سم عند نهاية فترة الحضانة على ٢٥ْم، مقارنة بزيادة فى نمو جذير نباتات المقارنة من ٠,٢ سم عند البداية إلى ٦,٣ سم فى نهاية فترة حضانة مدتها ٧٢ ساعة على حرارة ٢٥ْم. وقد أدى تعريض البادرات للكحول الإيثيلى بتركيز ٠,٤ مولار لمدة ٤ ساعات، أو لحرارة ٤٠ْم لمدة ساعة واحدة إلى زيادة كبيرة فى تحمل البادرات للبرودة، حيث وصل نمو جذورها النهائى إلى ٤,١، و٣,١ سم فى المعاملتين، على التوالى. كذلك كان لهاتين المعاملتين تأثيرات إيجابية فى تحمل معاملة البرودة التى صاحبتها ظاهرة التسرب الأيونى، وهى تعريض البذور بعد ٢٤ ساعة من إنباتها لحرارة ٢,٥ْم لمدة ١٤٤ ساعة. وقد أدت إضافة المركب المانع لتمثيل البروتين سيكلوهكسيميد cyclohexemide فى بيئة معاملة البرودة إلى إلغاء التأثير المفيد لمعاملتى التعريض للكحول الإيثيلى والحرارة العالية، ويبدو أن الحماية التى وفرتها المعاملتان تضمنت تمثيل بروتينات جديدة (Jennings & Saltveit ١٩٩٤ أ ، ب).

- كذلك أدى تعريض بادرات الخيار وهى بعمر خمسة أيام لحرارة ٢ْم لمدة ٧٢ ساعة إلى ظهور أعراض أضرار البرودة التى تمثلت فى جفاف السويقة الجنينية السفلى وانهيارها، ثم موت البادرة. وقد أدى تعريض البادرات لنقص فى الأكسجين إلى تراكم الكحول الإيثيلى والأسيتالدهيد فيها، وصاحب ذلك زيادة تحملها لأضرار البرودة عندما تعرضت لها بعد ذلك، وتمثل ذلك فى استمرار نمو السويقة الجنينية السفلى وانعدام أضرار البرودة. كذلك أمكن جعل النباتات أكثر تحملاً لأضرار البرودة بمعاملتها بأبخرة الكحول الإيثيلى، بينما كان تأثير الأسيتالدهيد ضعيفًا؛ الأمر الذى يفيد بأن التأثير

الذى أحدثه تعريض البادرات لنقص فى الأكسجين كان مرده إلى تراكم الكحول الإيثيلى وليس إلى تراكم الأسيتالدهيد. كذلك أمكن زيادة القدرة على تحمل البرودة فى البادرات بتعريضها لأبخرة أى من الـ n-propanol، والـ n-butanol، والكلوروفورم chloroform، والهالوثين halothane؛ مما يفيد احتمال إحداث الكحول الإيثيلى لتأثيره من خلال زيادته لسيولة دهون الأغشية الخلوية. ويتفق ذلك مع ما هو معروف عن ارتباط نشاط الكحول الإيثيلى بأيض الدهون (Frankel & Erza ١٩٩٦).

- وقد وجد أن قدرة تحمل بادرات الخيار للبرودة (٣°م لمدة ٤ ساعات) ترتبط بنشاط مضادات الأكسدة، حيث ازدادت أضرار البرودة عند معاملتها بالمركبات المحفزة للأكسدة (كبريتات الحديدوز + حامض الأسكوربيك بتركيز ٥٠٠ ميكرومول لكل منهما) أثناء معاملة البرودة، بينما قلت أضرار البرودة عند معاملتها بأى من مضادات الأكسدة: حامض الأسكوربيك بتركيز ٧٥٠ ميكرومول، والجلوتاثيون glutathione بتركيز ١٠٠ ميكرومول، وحامض البنزويك benzoic بتركيز ٥٠ ميكرومول (Lukatkin & Levina ١٩٩٧).

- كذلك وجد Boese وآخرون (١٩٩٧) أن الخيار كان أكثر حساسية لأضرار البرودة عن كل من الفاصوليا والذرة السكرية، وأن زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون أدت – فى النباتات الصغيرة – إلى تحسين العلاقات المائية أثناء التعرض للبرودة، وإلى تخفيف الأثر الضار للنقص فى معدل البناء الضوئى الذى كان مصاحبًا لها.

- وقد أدت معاملة بادرات الخيار بأى من حامض الأبسيسك abscisic acid أو 24-epibrassinolide إلى زيادة قدرتها على البناء الضوئى فى الظروف الطبيعية بعد تعريضها لحرارة ٨، أو٤، أو ٢°م لمدة ثلاثة أيام (Yu وآخرون ٢٠٠٢).

- ولقد عُوملت نباتات الخيار وهى فى مرحلة نمو الورقة الحقيقية الثانية بالاسبرميدين spermidine بتركيز ٠,٥ مللى مول من خلال الجذور، قبل تعريضها لبرودة معتدلة (١٠/٧°م) لمدة ثمانية أيام تحت إضاءة مؤثرة فى البناء الضوئى بكثافة

٢٤٠ ميكرومول/م٢ فى الثانية. أدت المعاملة إلى زيادة محتوى الاسبيرميدين فى كل من الأوراق وأغشية الـ thylakoid، مقارنة بما فى الكنترول. كما كان معدل النمو ومحتوى الأوراق من الكلوروفيل أعلى فى النباتات المعاملة بالاسبيرميدين أثناء معاملة التعريض للبرودة، وكذلك بعد نقلها إلى حرارة ٢٢/٢٨°م، وذلك مقارنة بالوضع فى نباتات الكنترول. ويعنى ذلك أن سبق المعاملة بالاسبيرميدين قبل التعرض لشدّ البرودة يُسهم فى تحسين تحمل جهاز البناء الضوئى لأضرار البرودة فى أوراق الخيار (He وآخرون ٢٠٠٢).

- ودُرس تأثير المعاملة بمتعددات الأمين polyamines على حماية الخيار من أضرار الحرارة المنخفضة — من خلال تأثيرها على إنتاج مضادات الأكسدة — وذلك فى صنفى الخيار: المتحمل لشدّ البرودة Changchun mici، والحساس Beijing jietou . أدى التعرض لشدّ البرودة إلى حث إنتاج البولى أمينات: اسبرميدين spermidine، واسبرمين spermine، وبُترسين puterscine بوضوح فى أوراق الصنف المتحمل بعد يوم واحد من التعرض للبرودة، ثم انخفاض إنتاج البُترسين بعد ذلك، بينما ازداد إنتاج كل من الاسبيرميدين والاسبرمين بثبات. وأدى التعرض لشدّ البرودة إلى خفض المحتوى البروتينى، وخفض نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، متضمنة: السوبر أوكسيد دسميوتيز superoxide dismutase، والبيروكسيديز peroxidase، والأسكوربيت بيروكسيديز ascorbate peroxidase فى الصنف الحساس فقط، إلاّ أن المعاملة بأى من البُترسين أو الاسبرميدين جدّدت نشاط تلك الإنزيمات (Zhang وآخرون ٢٠٠٩).

- وأحدث رش بادرات الخيار بمحلول من كلوريد الكالسيوم بتركيز ١٠ مللى مول — فى ظروف الإضاءة الضعيفة وانخفاض الحرارة عن الدرجة المثلى — زيادات فى كل من معدل البناء الضوئى، وكفاءة الـ carboxilation، والمحتوى الكلوروفيلى، ونشاط إنزيمات ribulose 1,5-biphosphate carboxylase (اختصارًا: RuBPCase)، والبيروكسيديز peroxidase، والكاتاليز catalase. وقد ساعد ذلك فى تأقلم البادرات على ظروف ضعف الإضاءة وانخفاض الحرارة (Liang وآخرون ٢٠٠٩).

التطعيم

وجد Yu وآخرون (١٩٩٧) أن نباتات الخيار المطعمة على أصل من *Cucurbita ficifolia* تحملت التعرض لحرارة ٥°م لمدة أطول من النباتات غير المطعومة، وكان التسرب الأيونى من الأوراق والجذور أعلى فى النباتات غير المطعومة عما فى النباتات المطعومة بعد ٤ أيام من التعرض لحرارة ٥°م . وبالمقارنة.. كان محتوى الكلوروفيل، ومعدل التنفس، ومقاومة الثغور أعلى فى النباتات المطعومة، بينما كان معدل نتح الأوراق ونشاط إنزيم succinic dehydrogenase – فى الجذور – أقل فى النباتات المطعومة على الجورد مقارنة بالنباتات غير المطعومة.

المعاملة الحرارية للثمار

أدى تخزين ثمار الخيار لمدة أسبوعين على ٥°م إلى ظهور أعراض أضرار البرودة على ٥٠٪ من الثمار بعد إخراجها من المخزن. وقد ازدادت الأعراض خلال ثلاثة أيام من تركها على ٢٠°م. وأدت ثلاث معاملات سبقت التخزين (هى: الحرارة، ومضادات الأكسدة، والإيثانول) إلى الحد من ظهور أضرار البرودة إلى حد ما.

فقد أدى غمس الثمار لمدة ساعة واحدة فى الماء على حرارة ٤٠°م، أو تركها لمدة ١٦ ساعة فى هواء دافئ على حرارة ٣٨°م، والمعاملة ببخار الإيثانول إلى منع الارتفاع فى معدل التنفس وإنتاج الإثيلين اللذان لوحظا فى ثمار معاملة الكنترول. وأدت المعاملة بمضاد الأكسدة Xedefon (وهو: butylated hydroxytoluene formulation) إلى منع الزيادة فى التنفس، إلاّ إنه لم يؤثر فى إنتاج الإثيلين.

وفى ثمار معاملة الكنترول حدثت زيادة فى نسبة الـ sterol إلى الـ phospholipid، وفى نسبة تشبع الأحماض الدهنية فى دهون قشرة الثمرة أثناء التخزين البارد. هذا بينما أدت معاملتا الماء الساخن والـ Xedefon إلى خفض نسبة الـ sterol إلى الـ phospholipid، وحدثت معهما زيادة طفيفة – فقط – فى نسبة تشبع الأحماض الدهنية (Laamim وآخرون ١٩٩٨).

البطيخ

- في دراسة رُشّت فيها بادرات البطيخ من صنف Crimson Sweet النامية في حرارة ٢٥/٢٠°م (نهار/ليل)، وهي بعمر خمسة أيام بحامض الأبسيسك بتركيز ١٠^-٤ مول قبل ١٥ ساعة من تعريضها لحرارة ١,٥ ± ٠,٥°م لمدة ٢٤ ساعة، ثم قيمت فيها أضرار البرودة بعد أسبوع وأسبوعين من التعرض لمعاملة الحرارة المنخفضة، وجد أن معاملة البرودة أحدثت أضرارًا منظورة بالنباتات التي لم تُعامل بحامض الأبسيسك، وهي التي كانت أقل جوهريًا في الوزن الجاف للجذور والنمو الخضري، مقارنة بالوضع في النباتات التي عُوملت بحامض الأبسيسك قبل معاملة شدّ البرودة (Korkmaz ٢٠٠٢).

- وأدت معاملة نباتات البطيخ بحامض السلسيلك salicylic acid بتركيز ١,٠ مللي مول/ لتر إلى تحسين قدرتها على تحمل البرودة، وذلك من خلال زيادة المعاملة لنشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة، مثل: guaiacol peroxidase، وascorbate peroxidase، و superoxide dismutase، و catalase، و glutathione reductase (Yang وآخرون ٢٠٠٨).

- إن المعاملة بالبكلوباترازول paclobutrazol تستحث استجابات في النباتات تؤدي إلى زيادة تحملها لعدد من حالات الشدّ البيولوجي والبيئي. وفي دراسة عُوملت فيها بذور البطيخ بالنقع في محاليل بتركيزات مختلفة من البكلوباترازول (صفر إلى ٧٥ مجم/لتر) أو رشت بها البادرات، ثم تعريض البادرات وهي بعمر ٣٥ يوم لحرارة ٤°م خمس ساعات يوميًا لمدة خمسة أيام.. أحدثت المعاملة بالبكلوباترازول تحسنًا في معدل النمو، وزيادة في محتوى الأوراق من الكلوروفيل، وفي نسبة فلورة الكلوروفيل (Fv/Fm)، مقارنة بما حدث في نباتات الكنترول بنهاية فترة التعرض لشدّ البرودة. وقد خففت المعاملة بالبكلوباترازول من أضرار شدّ البرودة، بمنعها حدوث زيادات في البرولين مع التسرب الأيوني بالأوراق. وكانت معاملة نقع البذور أكثر كفاءة من معاملة رش النمو الخضري، وكان أفضل تركيز للبكلوباترازول هو ٥٠ و ٧٥ مجم/لتر (Baninasab ٢٠٠٩).

• تُخزن البادرات لفترة قصيرة — عادة — قبل زراعتها، ويعد فقد المواد الكربوهيدراتية من البادرات خلال تلك الفترة من أهم العوامل التى تحد من قدرتها على تحمل الشتل. وفى دراسة على البطيخ رُشَّت الشتلات — وهى فى صوانى إنتاج الشتلات — بالجلوكوز بتركيز ٣٪ أو ٦٪، ثم خُزِّنت فى الظلام لمدة ٦ أيام على ١٥ °م قبل شتلها. أدت المعاملة بالجلوكوز إلى احتفاظ الشتلات بكتلتها الجافة وأظهرت تحسنًا فى مُعاودتها للنمو بعد الشتل. وقد تميزت النباتات التى عُوملت بالجلوكوز بمحتوى عالٍ من السكر الذائب والنشا، وبتسرب أقل للأيونات، وبمستويات أقل من الـ malondialdehyde، مقارنة بالنباتات التى لم تُعامل، وذلك خلال أيام التخزين البارد الستة. وكانت تلك الاختلافات أكبر مع زيادة فترة التخزين البارد، ومع زيادة تركيز الجلوكوز المعامل به. ويُستفاد مما تقدم بيانه أن معاملة الجلوكوز يمكن أن تؤخر من فقد الكربوهيدرات، وتحافظ على سلامة الأغشية البلازمية، وتعمل على تجنب الدخول فى مرحلة الشيخوخة خلال مرحلة التخزين البارد؛ وبذا فهى تحافظ على جودة الشتلات خلال فترة التخزين البارد (Jiang وآخرون ٢٠١٢).

الفراولة

وجد أن الحرارة المنخفضة وشدّ الجفاف يلعبان — منفردين ومجتمعين — دورًا فعالاً فى تقسية نباتات الفراولة وتحملها للبرودة، وكان التعرض للعاملين — معاً — أكبر تأثيرًا فى تقسية النباتات (Rajashekar & Panda ٢٠١٤).

مظاهر شدّ التجمد

إن السبب الحقيقى لأضرار شدّ التجمد هو تكوين الثلج وليس الحرارة المنخفضة فى حد ذاتها والدليل على ذلك أن التجميد الفائق — الذى يتجمد فيه الماء دون تكوينه لبلورات ثلجية — يستخدم فى حفظ الجيرمبلازم (مثل البذور والجراثيم الفطرية)، فيما يعرف باسم cryopreservation.

تتضمن كل من أضرار البرودة وأضرار التجمد أضرارًا بالأغشية الخلوية، إلاّ أن أضرار التجمد تتضمن تغيرات أخرى أشد تتعلق بتكوين الثلج. وعلى الرغم من أن تكوين الثلج فى حد ذاته لا يضر بالخلايا، إلاّ أن ما يترتب على تكوينه من سحب للماء من الخلايا يضر بها.

يبدأ تكوين الثلج فى النباتات فى المسافات بالجدر الخلوية الـ apoplast التى يقل محتواها – نسبيًّا – من المواد الذائبة، وتكون درجة تجمده – نتيجة لذلك – أعلى عن درجة تجمد السوائل التى توجد داخل الخلايا. يتكون الثلج ونتيجة لتكونه فى الجدار الخلوى يتولد تدرج فى ضغط بخار الماء بين الجدار الخلوى والخلايا المحيطة به، يؤدى إلى رحيل الماء السيتوبلازمى غير المتجمد عبر التدرج من سيتوبلازم الخلية إلى الجدار الخلوى؛ مما يؤدى إلى تضخم البللورات الثلجية المتواجدة فيه بالفعل؛ مما يُحدث ضغطًا ميكانيكيًّا على الجدار الخلوى والغشاء البلازمى؛ مما يؤدى إلى إتلاف وتمزق الخلية. ويؤدى الفقد المائى للخلايا المستحث بفعل التجمد إلى صور متعددة للأضرار بالغشاء البلازمى، متضمنة انهيار الخلايا تحت وطأة تمددها، وتمزق وتشقق الخلايا. ولقد قُدر أنه فى حرارة – ١٠ °م ينتقل أكثر من ٩٠٪ من الماء النشط أسموزيًّا إلى المسافات بين الخلايا، وقد يرتفع تركيز المحاليل الداخلية بسبب ذلك إلى ٥,٠ مولار أسموزى osomolar (Srivastava ٢٠٠٨).

كذلك تُسهم المركبات النشطة فى الأكسدة ROS – التى تنتج استجابة لشدّ التجمد – فى إتلاف الأغشية البلازمية.

وفى نهاية الأمر تؤدى البرودة إلى فقد الأغشية البلازمية لخصائصها؛ مما يؤدى إلى التسرب الأيونى، كذلك تفقد عضيات الخلية قدرتها فيما يدخل إليها أو يخرج منها؛ مما يعنى فقد الخلايا لخاصية التحكم فى الحجيرات compartmentalization، وانخفاض وتردى البناء الضوئى، وتكوين البروتينات الأيضية العامة (Mahajan & Tuteja ٢٠٠٥).

التقسية أو الأقلمة على شدّ التجمد

تكتسب عديد من النباتات العشبية القدرة على تحمل التجمد إذا عرضت للبرودة لفترة قصيرة (أيام أو أسابيع قليلة) قبل تعرضها للصقيع، فيما يعرف بعملية الأقلمة acclimation؛ وهى العملية التى تعرف فى المجال البستانى التطبيقى باسم التقسية hardening. ويؤدى تعرض النباتات للحرارة العالية بعد تعرضها للحرارة المنخفضة إلى زوال أثر الأقلمة، فيما يعرف بعملية الـ deacclimation. وتؤثر عمليتا الـ acclimation والـ deacclimation على كل من ظاهرتى القدرة على تحمل التجمد freezing tolerance (القدرة على تحمل تكون البللورات الثلجية بين الخلايا)، والقدرة على تجنب التجمد freezing avoidance (القدرة على تجنب تكوين البللورات الثلجية خارج الخلايا وداخلها (Palta ١٩٩٢).

ويُستدل من الدراسات الحديثة أن جانبًا كبيرًا من قدرة نباتات المناطق الباردة على تحمل البرودة يُستحث من خلال عملية التقسية أو الأقلمة acclamation التى تمر بها تلك النباتات جراء تعرضها لحرارة منخفضة بصورة تدريجية ومتزايدة. تحدث خلال التقسية عديدًا من التغيرات الفسيولوجية الجزيئية، ولعل من أهمها تنشيط وتثبيط عمل جينات مختلفة بفعل الحرارة المنخفضة.

وبصفة عامة.. فإن التقسية بالبرودة تؤدى إلى حماية الأغشية الخلوية وثباتها، وتحفيز آليات مضادات الأكسدة، وزيادة محتوى الخلايا من السكر، وتراكم حافظات أخرى ضد التجمد cryptoprotectants، متضمنة متعددات الأمين التى تحمى البروتينات التى توجد خارج الخلية بحثّ نشاط الجينات التى تشفر لتكوين كاسحات (كانسات) جزيئية chaperons. وتعمل جميع هذه التحورات على مساعدة النبات على تحمل الجفاف dehydration الشديد الذى يكون مصاحبًا لشدّ التجمد.

وتعد الوظيفة الرئيسية لأقلمة البرودة cold acclimation هى تثبيت الأغشية البلازمية ضد أضرار التجمد، حيث ينتج عن الأقلمة زيادة فى نسبة الأحماض الدهنية غير المشبعة؛ ومن ثم انخفاضًا فى حرارة تحولها. وتعمل الأقلمة على منع التحلل الخلوى الناشئ عن تمدد الخلايا، كذلك تؤدى إلى تكوين بروتينات أخرى غير إنزيمية تخفض من درجة تجمد الماء.

ومن بين التحورات الأخرى التى تُحدثها الحرارة المنخفضة فى مكونات الخلية — غير زيادة نسبة الأحماض الدهنية غير المشبعة — تركيب الـ glycerolipids، وتغيرات فى تركيب البروتين والمركبات الكربوهيدراتية، وتنشيط قنوات الأيونات ion channels. كما أن تراكم السكروز وغيره من السكريات البسيطة أثناء تأقلم البرودة يُسهم فى ثبات الأغشية البلازمية؛ نظرًا لأن تلك المركبات يمكنها حماية الأغشية البلازمية من أضرار التجمد (Mahajan & Tuteja ٢٠٠٥).

ويمكن تلخيص أهم التغيرات التى تحدث خلال فترة تأقلم النباتات على تحمل أضرار التجمد فيما يلى:

١- حدوث تحورات فى مكونات الأغشية من الدهون، حيث تزداد نسبة الأحماض الدهنية غير المشبعة.

٢- حدوث تراكم للمركبات الأسموزية، وخاصة المركبات العضوية ذات الوزن الجزيئى المنخفض.

٣- تمثيل البروتينات المضادة للتجمد.

٤- تمثيل بروتينات تحمى الأغشية وعضيات الخلية من أضرار فقد الرطوبة.

٥- تُطور معظم الأشجار قدرة على التبريد الفائق supercooling.

٦- يتم تمثيل عديد من البروتينات التى تعمل كمضادات أكسدة أو يكون لها علاقة بالأمراض PR proteins.

وتظهر كثير من تلك التغيرات — كذلك — كاستجابة لحالات شدّ الجفاف وشدّ الملوحة، لكن التغيرات فى درجة عدم تشبع دهون الأغشية، وتمثيل مضادات التجمد والتبريد الفائق تقتصر على حالة التأقلم على التجمد فقط.

هذا.. ويزداد تركيز حامض الأبسيسك فى عصير الخشب بالنباتات خلال فترة تأقلمها على البرودة، ويصل التركيز أقصاه قبل اكتمال التأقلم مباشرة. كذلك فإن المعاملة بحامض الأبسيسك فى الجو الدافئ (٢٠- ٢٥°م) يُكسب النباتات تأقلمًا على التجمد (Srivastava ٢٠٠٨).

ولقد أمكن عزل جليكوبروتين (٧ كيلو دالتون) من أوراق الكرنب التى أُقلمت على البرودة بالتقسية — وليس من الأوراق التى نمت فى ظروف طبيعية — كانت له القدرة — بعد تنقيته — على حماية الـ thylakoids — المأخوذة من نباتات سبانخ غير مؤقلمة — ضد أضرار التجمد (Sieg وآخرون ١٩٩٦).

أضرار شدّ التجمد

فسيولوجيا الضرر وكيفية حدوثه

يؤدى انخفاض درجة الحرارة إلى أقل من الصفر المئوى إلى تكوين بلورات ثلجية فى المسافات الموجودة بين الخلايا (المسافات البينية)، وكذلك داخل الخلايا نفسها. فالماء يوجد فى المسافات البينية على شكل غشاء مائى رقيق يغطى الأسطح الخارجية لجدر الخلايا، وكذلك فى صورة بخار ماء. وهذا الماء يكون نقيًا بدرجة عالية وذا درجة تجمد قريبة من الصفر المئوى. كذلك يوجد الماء فى الفجوات العصارية داخل الخلايا فى صورة محلول مذاب فيه عديد من المركبات والأملاح، وهذا الماء يكون ذا درجة تجمد أقل من الصفر المئوى بدرجات قليلة.

وفى حالة انخفاض درجة الحرارة إلى أقل من الصفر المئوى بقليل يبدأ الماء الموجود فى المسافات البينية فى التجمد (لقلة محتواه من المواد المذابة، مع زيادة محتواه من

نويات البلورات الثلجية)، ويؤدى ذلك إلى نقص ضغط بخار الماء فى المسافات البينية عنه داخل الخلايا، فينتشر الماء تبعًا لذلك من داخل الخلية إلى المسافات البينية ؛ وتزيد بذلك الكتلة البلورية فى الحجم. ويؤدى استمرار هذه العملية إلى انكماش الخلايا فى الحجم، وزيادة تركيز عصيرها الخلوى؛ فتزيد نقطة تجمد محتوياتها، بينما يساعد الغشاء البلازمى على منع انتقال عملية بَلْوَرة الماء إلى داخل الخلايا ذاتها.

ومع ارتفاع درجة الحرارة إلى أعلى من الصفر المئوى تذوب بلورات الثلج المتكونة فى المسافات البينية تدريجيًّا، ويعود الماء إلى داخل الخلية بصورة تدريجية، دون أن يُحدث أضرارًا بالخلية. وتحدث هذه العملية — وتتكرر بصورة طبيعية — فى عديد من النباتات العشبية والخشبية، والحولية والمعمرة التى تتميز بقدرتها على تحمل الصقيع،وهى الخاصية التى تعرف باسم "Freezing Tolerance"، التى تمكن النباتات من تحمل جفاف الخلايا الذى يحدث عند تجمد الماء فى المسافات البينية، وهى صفة وراثية.

لكن الأضرار قد تحدث عند تجمد الماء بين الخلايا فى الحالات التالية:

١–عند زيادة فقد البروتوبلازم للماء الذى ينتشر فى المسافات البينية، ويتوقف ذلك على نفاذية الغشاء البلازمى.

٢–عند حدوث تجمع لبعض مكونات الخلية بدرجة لا يعود معها البروتوبلازم إلى حالته الطبيعية.

٣–فى حالة الارتفاع الفجائى لدرجة الحرارة؛ حيث يذوب الثلج وينتشر الماء داخل الخلايا بسرعة؛ مما قد يؤدى إلى تمزق الغشاء البلازمى.

٤–فى حالة النباتات الرهيفة tender، والتى يكون غشاؤها الخلوى أقل نفاذية للماء؛ الأمر الذى يؤدى إلى تجمع الماء فى المسافات البينية عند ذوبان البلورات الثلجية.

هذا.. ولا تتكون البلورات الثلجية داخل الخلايا إلا إذا انخفضت درجة الحرارة إلى القدر الذى يسمح بتجميد العصير الخلوى، ويحدث ذلك فى الحالات الآتية:

١- عندما يكون معدل الانخفاض فى درجة الحرارة أكبر من معدل الانخفاض فى نقطة تجمد العصير الخلوى (وهو الأمر الذى يحدث عند انتشار الماء من الخلايا إلى المسافات البينية)، ويحدث ذلك فى الحالات التالية:

أ- عندما يكون الانخفاض فى درجة الحرارة سريعًا وكبيرًا.

ب- فى حالة النباتات الرهيفة، وهى التى تكون أغشيتها الخلوية أقل نفاذية للماء؛ الأمر الذى لا يسمح بسرعة انتشار الماء إلى المسافات البينية.

٢- عندما لا تكون النباتات مؤقلمة جيدًا؛ حيث تكون نقطة تجمد العصير الخلوى مرتفعة نسبيا؛ لأن النباتات المؤقلمة جيدًا يزيد بها تركيز المواد الذائبة بالعصير الخلوى، كما يزيد محتواها من المركبات المحبة للرطوبة hydrophylic compounds؛ وهى مركبات تقوم بادمصاص الماء حولها، وترتبط به بشدة ؛ الأمر الذى يؤدى إلى خفض نقطة تجمده، وتزيد هذه المركبات فى الظروف التى لا تسمح بالنمو الخضرى السريع، وكذلك فى النباتات الأكبر سنًا.

ويؤدى تجمد الماء داخل الخلايا إلى الأضرار التالية:

١- فقدان الخلية للماء الحر.

٢- تمزق الغشاء البلازمى.

٣- حدوث أضرار ميكانيكية تؤثر على تركيب الكلوربلاستيدات والتركيب الغروى للسيتوبلازم (Walker ١٩٦٩، و Devlin ١٩٧٥).

وتتميز بعض الأجزاء والأنسجة النباتية بالقدرة على البقاء فى درجة حرارة التجمد؛ وذلك بتجنب تكوين البللورات الثلجية فيها، وهى الخاصية التى تعرف باسم

Freezing Avoidance، وتتميز بها البذور — التى تبقى ساكنة فى التربة خلال فصل الشتاء — والبراعم، وخلايا برانشيمية الخشب الشعاعية.

هذا.. وتُضار الأغشية الخلوية بتحولها من الحالة السائلة شبة البلّورية إلى حالة غروية (جل)، ويترتب على ذلك فقد لنشاط ما يرتبط بها من بروتينات وإنزيمات (مثل: الـ ATPases، والبروتينات الحاملة carrier proteins، وبروتينات القنوات channel proteins). وينتج عن هذه التغيرات فقد لخصائص النفاذية الاختيارية للأغشية بالنسبة لكل من الأيونات والفينولات والمحاليل المخزنة لدى تفكك النسيج المتجمد. وإذا ما تكونت بلورات ثلجية كبيرة فإنها تُحدث أضرارًا ميكانيكية بالأغشية، وهى الأضرار التى تزداد بتكرر التجمد والتفكك. وقد يحدث الضرر نتيجة لتكوين وتراكم مركبات سامة؛ بسبب حدوث تقليص للتنفس الهوائى، وتكوين عناصر نشطة فى الأكسدة، وأكسدة للأحماض الدهنية غير المشبعة فى الأغشية. وقد يحدث — كذلك — دنترة للبروتينات كجزء من أضرار فقد الماء (Srivastava ٢٠٠٨).

فسيولوجيا تكوين نويات البللورات الثلجية والتجمد ودور البكتيريا التبريد الفائق

تتمكن أحيانًا النباتات الحساسة للصقيع من البقاء خلال فترات الصقيع القصيرة، وذلك عندما يحدث تبريد فائق super-cooling للماء الموجود فى أنسجتها. وتزداد فرصة حدوث التبريد الفائق عندما تكون الأسطح الورقية خالية نسبيًّا من البكتيريا المكونة لنويات البللورات الثلجية. ونجد تحت الظروف الحقلية أن الأسطح النباتية نادرًا من ما تكون خالية من تلك البكتيريا، إلا أن أعدادها قد تكون منخفضة إلى الحد الذى يسمح بحدوث تبريد فائق بدلاً من تكوين نويات البللورات الثلجية. وقد تبين أن وجود الندى على الأوراق يزيد من فرصة تكوين نويات البللورات الثلجية.

وقد عرض Cary & Lindow (١٩٨٦) بادرات فاصوليا من صنف Pinto لحرارة تراوحت بين -٢، و-٥ °م لمدد تراوحت بين ٣٠ دقيقة و١٢ ساعة، ووجدا أن النباتات التى لم تكن قد رُشّت بمعلق من البكتيريا *Pseudomonas syringae*، وتلك التى تعرضت لشدّ رطوبى وصل إلى نقطة الذبول كانت أكثر مقاومة لتكوين نويات البلورات الثلجية. كذلك كانت النباتات التى لم تبلل سطحيًّا أكثر ميلاً للتبريد الفائق عن تلك التى تعرضت أسطحها لرذاذ من الماء المقطر، سواء أكانت قد عوملت بالبكتيريا، أم لم تعامل. وقد ذكر الباحثان أن معاملة النباتات بالمواد المبللة للأوراق wetting agents (المواد الناشرة) عند رش النباتات بمختلف المركبات الكيميائية ربما يعيق عملية التبريد الفائق.

ويمكن أن تُثار أو تنشط عملية التجمد ذاتها بالمواد التى تعمل كنويات للبللورات الثلجية Ice Nucleoters، وهى التى تسبب عملية بلورة الماء الذى يكون سائلاً فى حالة فائقة التبريد Supercooled قبل تعرضه لتلك النويات. وعندما تبدأ عملية البلورة هذه.. فإنها تستمر سريعًا إلى أن تتجمد المحاليل الفائقة التبريد.

وتحدث تلك البلورة للماء فيما بين حرارتى الصفر المئوى وعشر درجات تحت الصفر، ولكن الماء الذى يوجد على صورة نقاط صغيرة — لا يتعدى قطرها ١٠ ميكروميترات — يمكنه أن يبقى مبردًا تبريدًا فائقًا حتى درجة ٣٨,١ °م تحت الصفر، وهى الدرجة التى تعرف باسم Homogenous Nucleation Temperature، ويرمز إليها بالرمز : ΔT_h

وإذا كانت الـ Melting Point Depression Temperature هى ΔT_m .. فإن:

$$\Delta T_m = (-2\ \Delta T_m + 38.1)$$

وتقع ΔT_m بالنسبة لمعظم النباتات بين — ٤١ °م ، و -٤٧ °م. ولا يحدث التبريد الفائق إلى هذه الدرجة من البرودة إلاّ بالنسبة لبعض الأعضاء والأنسجة النباتية لبعض النباتات، أما النباتات الكاملة فإنها لا تتعرض للتبريد الفائق إلا بقدر محدود.

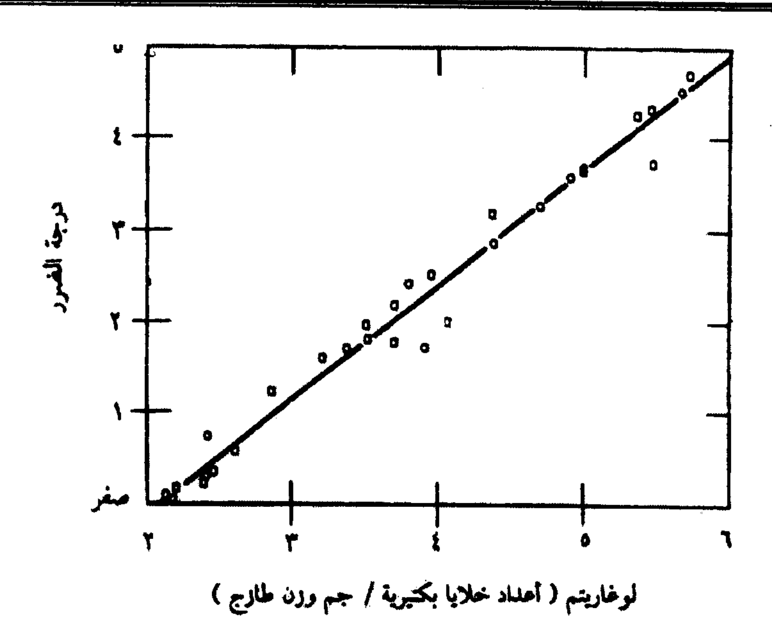
دور البكتيريا فى تكوين نويات البللورات الثلجية

اكتشف Lindow وآخرون (١٩٧٨ أ، ١٩٧٨ ب) وجود عدة سلالات من نوعين من البكتيريا التى تعيش على الأسطح النباتية epiphytic bacteria وبين خلايا النبات؛ هما: *Pseudomonas syringae* و *Erwinia herbicola*. وقد كانت بعض سلالات هذين النوعين على درجة عالية من الكفاءة فى تكوين نويات البلورات الثلجية ice nuclei فى درجات حرارة تراوحت بين ٢°م تحت الصفر و٥°م تحت الصفر. وقد وجدت هذه الأنواع البكتيرية بأعداد كبيرة بأوراق معظم النباتات التى جمعت من مناطق جغرافية مختلفة وفى مواسم مختلفة.

وقد وجدوا كذلك أن أضرار الصقيع فى الذرة على درجة حرارة — ٥°م تناسبت طرديًا مع لوغاريتم أعداد هذه البكتيريا (شكل ٢-٢)، لكن البكتيريا لم تكن نشطة فى تكوين نويات البلورات الثلجية فى حرارة أقل من — ١٠°م.

كما حصل Feng (١٩٩٠) على نتائج مماثلة فى الخيار؛ حيث وجد أن هناك علاقة خطية موجبة بين كل من لوغاريتم أضرر الصقيع ولوغاريتم أعداد البكتيريا النشطة فى تكوين نويات البللورات الثلجية — من أى من النوعين *P. syringae* و *E. herbicola* — على الأسطح النباتية.

وأوضحت دراسات Lindow وآخرين (١٩٧٨ ب) على الذرة أن أضرار التجمد على درجة -٤°م تزداد كثيرًا بزيادة الفترة — التى تمر بين رش النباتات بالبكتيريا *E. herbicola* وتعريضها للحرارة المنخفضة — من ١٢ ساعة إلى ٣٦ ساعة؛ حيث تبدأ البكتيريا انقسامها النشيط بعد ٦ ساعات من رش الأوراق بها، وتتناسب شدة الضرر خطيا مع أعداد البكتيريا المتواجدة على سطح الأوراق وقت تعرضها للحرارة المنخفضة.



شكل (٢-٢): العلاقة بين لوغاريتم أعداد الخلايا البكتيرية النشطة فى تكوين نويات البللورات الثلجية وشدة الإصابة بأضرار الصقيع فى الذرة على حرارة تراوحت بين -٥°م و٤,٥°م .

وقد أثبتت عديد من الدراسات أن هذه البكتيريا هى المسئولة عن أضرار الصقيع فى النباتات الرهيفة؛ مثل: الذرة، والموالح، والأفوكادو، والكمثرى، والطماطم، والقرع العسلى، والفاصوليا، وفول الصويا، وغيرها، كما أضيف إليها كذلك بعض سلالات من النوعين *P. fluorescens*، و*P. viridiflava* (عن Ashworth & Davis ١٩٨٤، وHirano وآخرين ١٩٨٥).

وتتواجد هذه البكتيريا بأعداد ضخمة على أسطح الأوراق النباتية، بما فى ذلك النباتات الخالية تمامًا من أية أعراض مرضية. وبعض هذه الأنواع تعيش معيشة رمية، وتتفاعل مع البكتيريا المرضية، وتقلل من حدة الأمراض التى تحدثها؛ فمثلاً:

١- تعمل *E. herbicola* على تثبيط الإصابة بـ *Xanthomonas oryzae* فى الأرز.

٢-وتعمل بعض أنواع البكتيريا على تقليل شدة الإصابة بـ *E. amylovora* فى الكمثرى.

٣-وتفيد عديد من البكتيريا التابعة للجنس *Pseudomonas* فى تقليل شدة الإصابة بـ *P. syringae pv. morsprunorum* فى الكريز (Lindow وآخرون ١٩٧٨، وKelman ١٩٧٩).

وقد عُرِفَ ٢٠ نوعًا على الأقل من هذه البكتيريا ذات المقدرة على تكوين نويات البلورات الثلجية التى تعيش على أسطح الأوراق النباتية (Ashworth ١٩٨٦، و Lindow وآخرون ١٩٧٨ أ، و Kelman ١٩٧٩).

ومن أكثر الأنواع البكتيرية انتشارًا وأهمية — فى تكوين نويات البللورات الثلجية — ما يلى:

Pseudomonas syringae pv. *syringae*

P. fluorescens

P. viridiflava

Erwinia herbicola

Xanthomonas campestris pv. *tranlucens*

وقد تباينت سلالات البكتيريا *P. sysringae* pv. *syringae* — التى عزلت من التفاح — فى مدى ضراوتها على ثمار الطماطم الخضراء، وقرون الفاصوليا الخضراء، وبادرات الخوخ (عن Olive & McCarter ١٩٨٨).

وتتميز البكتيريا *P. syringae* بقدرتها على إصابة عدد كبير من الأنواع النباتية. وقد وجدت على كثير من النباتات التى لم تَبْدُ عليها أية أعراض للإصابة، ولكن أعدادها كانت كافية لتكوين نويات البللورات الثلجية عند انخفاض درجة الحرارة إلى

ما دون درجة التجمد (عن Anderson وآخرين ١٩٨٢).

وكما أنه توجد اختلافات بين الأنواع والسلالات البكتيرية فى قدرتها على تكوين نويات البللورات الثلجية، فإن الخلايا المفردة من السلالة الواحدة تختلف كذلك فى تلك القدرة. وتعرف النسبة بين الخلايا القادرة على تكوين النويات الثلجية إلى مجموع الخلايا البكتيرية باسم Bacterial Ice Nucleation Frequency. وقد تراوحت هذه النسبة — للسلالة ٣١ من *P. syringae* (على بادرات الذرة) تحت ظروف حجرات النمو على حرارة ٤°م تحت الصفر — بين ١ فى المليون و١ فى البليون (عن Hirano وآخرين ١٩٨٥).

وهذا.. ولم يجد Anderson (١٩٨٨) اختلافات معنوية بين ستة أصناف من الطماطم فى درجة الحرارة التى تتجمد عندها بادرات وشتلات الطماطم التى يتراوح وزنها بين ٠,٣ جرام و٣٤ جرامًا. وقد تأثرت حرارة التجمد — أساسًا — بوجود أو غياب بكتيريا نويات البللورات الثلجية، حيث تراوحت حرارة تجمد البادرات بين -٤,٧ و -٥,٧°م فى وجود البكتيريا وبين -٦,١ م و-٦,٩°م فى غيابها.

وكما أسلفنا.. تعد البكتيريا *Pseudomonas syringae*، و *Erwinia herbicola* من أهم الأنواع البكتيرية المكونة لنويات البللورات الثلجية، وهما المسئولتان عن كثير من أضرار التجمد فى كثير من النباتات الحساسة للصقيع، ومنها الطماطم. وتصيب البكتيريا *P. syringae* مدى واسعًا من العوائل النباتية، كما وجدت فى بقايا النباتات — التى كانت تخلو من أى أعراض مرضية — بأعداد كافية لبدء تكوين النويات الثلجية. وقد وجد أن رش هذه البكتيريا على أوراق الطماطم أدى إلى تجمدها عند حرارة -٤°م، مقارنة بالتجمد على حرارة -٨°م فى نباتات الشاهد التى كانت خالية من هذه البكتيريا. وكان وجود البكتيريا بتركيز ٤ × ١٠°م خلية بكتيرية/ مل (سم٣) من المعلق البكتيرى ضروريًّا لتكوين النويات الثلجية. وقد أدى حفظ هذه البكتيريا على حرارة ٢°م

قبل رشها على أوراق النباتات إلى جعلها أكثر قدرة على تكوين النويات الثلجية (بتكوينها للنويات على حرارة أعلى) عما لو كان حفظها – قبل استعمالها – على حرارة ٢١°م (Anderson وآخرون ١٩٨٢).

وفى الخيار.. تحدث أضرار التجمد فى أوراق الخيار عندما تتكون البللورات الثلجية فى المسافات التى تقع بين الخلايا، وتتباين درجة الحرارة التى تتكون عندها تلك البللورات باختلاف الأوراق. وقد حفَّز تواجد البكتيريا النشطة فى تكوين نوايا البللورات الثلجية ice nucleation-active bacteria على سطح الأوراق .. حفز تواجدها تكوين البللورات الثلجية؛ مما أدى إلى زيادة أضرار التجمد. وعندما عوملت النباتات بنوعين من هذه البكتيريا – هما: *Pseudomonas syringae*، و *Erwinia herbicola* – ازدادت أضرار التجمد مع زيادة أعداد هذه البكتيريا عند أى درجة حرارة تحت الصفر. ووجدت علاقة خطية بين لوغاريتم أضرار التجمد ولوغاريتم أعداد البكتيريا (Feng ١٩٩٠).

تأثير بكتيريا تكوين نويات البللورات الثلجية فى عملية التبريد الفائق

فى الحالات التى تكون فيها الأسطح النباتية خالية – نسبيًا – من البكتيريا المكونة لنويات البللورات الثلجية نجد أن النباتات الحساسة للصقيع يمكنها تحمل فترات الصقيع المعتدل القصيرة بحدوث تبريد فائق Super Cooling للماء الموجود بأنسجتها. وبينما نجد – تحت الظروف الحقلية- أن الأسطح النباتية نادرًا ما تخلو من تلك البكتيريا، فإن أعدادها قد تكون منخفضة إلى القدر الذى يسمح بحدوث تبريد فائق.

وقد تميزت نباتات الفاصوليا ذات الأسطح الورقية الجافة بقدرة على التبريد الفائق أكبر من تلك التى كان على أسطحها نقط من الماء المقطر، سواء أكانت معاملة بالبكتيريا *Pseudomonas syringae*، أم غير معاملة بها؛ ولذا .. فإن رش الأوراق بمواد مبللة wetting agents ربما يعوق عملية التبريد الفائق (Cary & Lindow ١٩٨٦).

هذا.. وعند وجود هذه البكتيريا – وهى متواجدة دائمًا – فإنها لا تسمح بحدوث تبريد فائق لأقل من درجتين تحت الصفر، بينما يمكن أن يصل التبريد الفائق إلى أقل من ذلك بكثير (حتى – ٧ ° م) فى غيابها.

وقد وجد Anderson وآخرون (١٩٨٢) أن هذه البكتيريا زادت من حساسية الطماطم وفول الصويا للصقيع عند رشها على النباتات قبل تعريضها لدرجة الحرارة المنخفضة؛ حيث تجمدت نباتات الطماطم فى حرارة – ٤ ° م وفول الصويا فى حرارة – ٥ ° م فى الوقت الذى ظلت فيه النباتات غير المعاملة بالبكتيريا دون أن تتجمد حتى حرارة – ٨ ° م. وقد كان من الضرورى أن يصل تركيز البكتيريا إلى ٤ × ١٠ ° / مل لكى تكون فعّالة فى إحداث التجمد. كما أدى تعريض البكتيريا لدرجة حرارة ٢ ° م قبل معاملة النباتات بها إلى زيادة فاعليتها فى تكوين نويات البللورات الثلجية.

وقد توصل Yelenosky (١٩٨٣) إلى نتائج مماثلة فى البرتقال؛ حيث وجد أن رش أشجار البرتقال الصغيرة بمعلق مائى من أى من نوعى البكتيريا أدى إلى تجمدها فى درجة حرارة أعلى مما فى الأشجار غير المعاملة. كذلك حصل على النتائج ذاتها عند رش النباتات بمعلق مائى من أنواع بكتيرية أخرى أو بمعلقات بعض المركبات الكيميائية؛ مثل: يوديد الفضة، والفينازين phenazine، والفلوروفلوجوبيت flurophlogopite ... فجميعها عملت كنويات للبللورات الثلجية.

وأظهرت دراسات Cary & Lindow (١٩٨٦) أن نباتات الفاصوليا التى عُرِّضت لحرارة تراوحت بين – ٥ ° م و – ٢ ° م لمدة نصف ساعة إلى اثنتى عشرة ساعة كانت مقاومة – بدرجة عالية – لتكوين نويات البللورات الثلجية بها، حينما لم يسبق رشها بمعلق من البكتيريا *Pseudomonas syringae*، أو حينما كانت تعانى نقصًا فى الرطوبة الأرضية اقترب من نقطة الذبول.

آليات وطبيعة تحمل شد التجمد

تشترك ثلاث آليات فى إضفاء خاصية المقاومة لشدّ التجمد فى النباتات، هى: تحمل التجمد freezing tolerance، وتجنب التجمد freezing avoidance، والقدرة على التأقلم بعد التعرض للبرودة capacity to acclimate، وجميعها آليات تورث.

وفى الطبيعة يكون الانخفاض فى حرارة النباتات — عادة — بطيئًا وفى حدود ١-٢ °م/ ساعة أثناء حدوث الصقيع. ويترتب على ذلك تكوين البللورات الثلجية فى المسافات بين الخلايا مما يسبب جفافًا بالخلايا. ولذا.. فإن تحمل التجمد يعتمد أساسًا على قدرة خلايا النبات على تحمل الجفاف.

وتلعب الأغشية البلازمية دورًا محوريًا فى تحمل التجمد والقدرة على التأقلم عند التعرض للبرودة. ومن أولى علامات أضرارا التفكك بعد التجمد التحورات فى وظائف ATPase الغشاء البلازمى. ويبدو أن تلك التحورات تتضمن اضطرابات فى الكالسيوم الخلوى وتغيرات فى خصائص دهون الأغشية البلازمية.

وتحدث تغيرات مفتاحية فى تركيب دهون الأغشية البلازمية خلال فترة تأقلم البرودة (عن Palta ١٩٩٢).

إن أشد تأثيرات التجمد ضررًا هو إتلافه للأغشية البلازمية، ويرجع هذا الضرر — أساسًا — إلى الفقد المائى الحاد الذى يرافق التجمد. وتتكون دهون الأغشية البلازمية من نوعين من الأحماض الدهنية: غير مشبعة ومشبعة. وتتميز الأحماض الدهنية غير المشبعة بوجود واحدة أو أكثر من الروابط الزوجية بين ذرتى كربون (-CH = CH-)، بينما تكون الأحماض الدهنية المشبعة مشبعة تمامًا بذرات الأيدروجين فلا يوجد بها أى روابط زوجية ($-CH_2 - CH_2-$). وإنه لمن المعروف أن الدهون التى تحتوى على أحماض دهنية مشبعة تتصلب على حرارة أعلى عن تلك التى تتصلب عليها الدهون التى تحتوى على أحماض دهنية غير مشبعة. وبذا.. فإن التواجد النسبى للأحماض الدهنية غير المشبعة فى الأغشية

يؤثر — بقوة — على مدى سيولة هذه الأغشية. وتعرف الحرارة التى يتحول عندها الغشاء من الحالة نصف السائلة إلى الحالة النصف بلورية بحرارة التحول transition temperature. وتحتوى النباتات الحساسة للبرودة — عادة — على نسبة أعلى من الأحماض الدهنية المشبعة؛ ومن ثم فهى ذات حرارة تحول أعلى. وفى المقابل.. فإن الأنواع المقاومة للبرودة تتميز باحتوائها على نسبة أعلى من الأحماض الدهنية غير المشبعة؛ ومن ثم فهى ذات حرارة تحول أقل (Mahajan & Tuteja ٢٠٠٥).

وسائل الحماية من أضرار التجمد والصقيع

الوسائل الزراعية

يمكن الحماية من أضرار الصقيع فى زراعات الخضر بوسائل متنوعة، منها ما يلى:

١–زيادة الترديم على تقاوى البطاطس لتأجيل ظهور النبت فوق سطح التربة إذا وجدت مخاطر لتعرضه للصقيع.

٢–عمل الزراعات المبكرة للكنتالوب والفاصوليا والذرة السكرية فى خنادق صغيرة لأجل حماية البادرات من الرياح الباردة، وحمايتها من الصقيع بإحاطتها بتربة دافئة.

٣–الحماية من البرودة والصقيع باستعمال أغطية النباتات الطافية.

الرى بالرش

يفيد الرى بالرش فى الحماية من أضرار التجمد والصقيع؛ حيث تعمل الطاقة التى تنطلق عند تحول الماء من الصورة السائلة إلى الثلج فى تدفئة الهواء المحيط بأوراق النباتات. ويجب لحماية النباتات استمرار الرى بالرش طوال فترة التعرض للصقيع، مع توفير القدر المناسب من الماء لتعويض كل الفقد الحرارى، علمًا بأن كفاءة تلك الطريقة تنخفض فى وجود الرياح.

ويتعين مراقبة حالة العناصر المغذية فى التربة عند تكرار حماية النباتات من الصقيع بالرش؛ نظرًا لاحتمال غسيل بعض العناصر.

وتفيد الزراعة على مصاطب عالية فى تجنب تعرض الخضر النامية للغدق حال استمرار الرى بالرش.

ويجب عدم إجراء الرى بالرش لأجل الحماية من الصقيع إن كانت الحرارة شديدة الانخفاض حتى لا تتجمد المياه داخل نظام الرى. كما لا يجب أن يحدث انقطاع لرش الماء طوال فترة انخفاض درجة الحرارة.

ويستدل من تكون ثلج بلون أبيض حليبى دون تكون دلاّت متجمدة icicles وعدم تغطية النباتات تغطية كاملة بالثلج على شدة انخفاض معدل الرش بالماء عما يلزم، بينما يدل تكون ثلج رائق ودلاّت متجمدة على نجاح الحماية من البرودة.

ولمزيد من التفاصيل حول الجوانب الفنية المتعلقة بالرى بالرش للحماية من أضرار الصقيع .. يراجع Sirnmone & Hochmuth (٢٠٠٣)، ولتفاصيل الجوانب الفسيولوجية المتعلقة بالموضوع .. يراجع Parsons & Boman (٢٠٠٣).

تغطية النباتات الصغيرة بالفوم (الرغوة)

يفيد استعمال أنواع تجارية من الفوم (الرغوة) فى معاملة النباتات الصغيرة التى تكون زراعتها فى خنادق ضيقة لإحكام تغطيتها بالفوم.. يفيد ذلك فى حماية النباتات الصغيرة من أضرار التجمد والصقيع فى الليالى التى يُتوقع انخفاض الحرارة فيها إلى ما دون درجة التجمد. هذا.. علمًا بأن الفوم يتلاشى بمجرد تعرضه لأشعة الشمس فى الصباح.

ويمكن الاطلاع على التفاصيل العلمية والفنية لاستخدام الفوم (الرغوة) foam فى الحماية من أضرار الصقيع، وكذلك التطور الذى حدث فى نوعيات الفوم المستخدمة وطرق استعمالها فى Choi وآخرين (١٩٩٩).

وسائل التغلب على مشاكل التجمد التى تحدثها بكتيريا نويات البللورات الثلجية

أدى اكتشاف بكتيريا تكوين نويات البللورات الثلجية ودورها فى منع التبريد الفائق فى النباتات إلى بزوغ الأمل فى التغلب على مشكلة تجمد الأنسجة النباتية فى النباتات الحساسة للصقيع. وقد عالج الباحثون هذه المشكلة من عدة جوانب، كما يلى:

١- رش النباتات بمبيدات بكتيرية يمكنها تقليل أعداد تلك البكتيريا إلى مستويات تقل فيها خطورتها كنويات للبللورات الثلجية، وخاصة بعد اكتشاف وجود علاقة خطية بين لوغاريتم أعداد هذه البكتيريا، وشدة أضرار الصقيع.

وقد أفاد الرش بالاستربتومايسين أو بالمبيدات النحاسية فى مقاومة بكتيريا نويات البللورات الثلجية، علمًا بأن مقاومة البكتيريا للاستربتومايسين تزداد بازدياد استخدام هذا المضاد الحيوى فى مقاومة الأمراض؛ كما هى الحال فى التفاح والكمثرى؛ حيث يستخدم الاستربتومايسين فى مكافحة اللفحة النارية (عن Olive & McCarter ١٩٨٨).

كما وجد أن رش الكمثرى بمخلوط من الاستربتومايسين والأوكسى تتراسيكلين oxytetracyline بتركيزات عالية (كل ٥-٧ أيام خلال فترة الإزهار) أحدث نقصًا قدره ٧٠٪ فى التلون الداخلى بثميرات الصنف بارتلت بعد التعرض لحرارة -٣°م، مقارنة بثميرات الأشجار غير المعاملة. هذا .. إلا أن دراسات Proebsting & Gross (١٩٨٨) على خمسة أنواع من الأشجار المتساقطة الأوراق لم تؤيد ذلك؛ حيث بدا أن المعاملة لم تكن مؤثرة على بكتيريا نويات البللورات الثلجية التى تعيش فى الأنسجة الخشبية بتلك الأشجار.

٢- استعمال مثبطات لتكوين النويات الثلجية يؤدى - على الأقل - إلى تثبيط النويات الثلجية البكتيرية دون أن يؤثر جوهريا على أعداد الخلايا البكتيرية.

٣- استعمال سلالات منافسة من البكتيريا تكون غير قادرة على تكوين البللورات الثلجية فى الوقت التى تنافس فيه البكتيريا النشطة فى تكوين النويات الثلجية على الغذاء، أو قد تكون قادرة على إنتاج مواد مثبطة لها (Proebsting & Gross ١٩٨٨).

وقد اكتشفت سلالة من بكتيريا *E. herblcoia* كانت غير نشطة فى تكوين نويات البللورات الثلجية، وأدت إلى تقليل كفاءة السلالات النشطة من كل من *E. herbicola* و*P. syringae* بمنعهما من تكوين نويات البللورات الثلجية تحت ظروف غرف النمو.

وفى محاولة لإجراء مكافحة بيولوجية لأضرار الصقيع، قام Lindow وآخرون (١٩٨٣) بدراسة تأثير هذه السلالة (ورمزها M232 A) وسلالة أخرى مشتقة منها ومقاومة أيضًا للاستربتومايسين (ورمزها M232 A SK 11) تحت ظروف الحقل، ووجدوا أن المعاملة بأى من السلالتين أدت إلى إحداث خفض جوهرى فى أعداد البكتيريا النشطة كنويات للبللورات الثلجية خلال موسم النمو، وإلى تقليل أضرار الصقيع فى الذرة تحت ظروف الحقل.

٤- شاع الاعتقاد بأن مضادات النتح antitranspirants تزيد من قدرة النباتات على تحمل أضرار الصقيع بتكوينها لغشاء يفصل بين الماء الذى يتجمد على سطح الأوراق والماء الداخلى بالأوراق، ويمنعه من أن يصبح نواة لتكوين الثلج داخليا، ولكن هذه الادعاءات للشركات المنتجة لمضادات النتح لم تكن موثقة؛ فلم يحدث أن وفرت مضادات النتح أية حماية من أضرار البرودة فى عديد من الدراسات على الخوخ، والموالح، والنباتات العشبية الاستوائية، وغيرها (عن Perry وآخرين ١٩٩٢).

وتوضح دراسات Perry وآخرين (١٩٩٢) أن مضادى النتح Frost Free (وهو يتكون من Propylene block copolymer of polyoxyethylene بنسبة ٥٠٪، وpropylene glycol بنسبة ٥٠٪)، وVapor Gard (وهو يتكون من ٩٦٪ pinolene وهو terpenic polymer، و٤٪ مادة خاملة، ويُسَوَّقُ كذلك على أساس أن له خاصية

الحماية من أضرار الصقيع).. هذان المضادان للنتح لم يوفرا أى قدر من الحماية من الصقيع لكل من الطماطم والفلفل حينما انخفضت الحرارة إلى -٣,٥°م، وإلى -١,٠°م — تحت ظروف الحقل — فى زراعتين مختلفتين، كما لم تؤثر المعاملة على المحصول فى أى من نوعى الخضر.

معاملات خاصة لبعض الخضر لحمايتها من أضرار التجمد

- أدى رش نباتات الطماطم بمحلول مائى من الجلسرين بتركيز ٥٪ مع فيتامين E بتركيز ٠,٣٥٪ إلى حمايتها من التجمد وأضرار التجمد. كانت تلك المعاملة الأكثر كفاءة من بين معاملات بحاميات تجمد cryoprotectors أخرى اشتملت على كل من الـ Me_2SO، والبرولين، والـ polyvinylpyrrolidone، ومستحضر من الأحماض الأمينية الحرة (Moratiel وآخرون ٢٠١١).

- أدت معاملة بادرات البسلة بحامض الأبسيسيك ABA بتركيز $١٠^{-٤}$ مولار، أو أقلمتها على حرارة ٢°م إلى زيادة قدرة السويقة الجنينية العليا وأنسجة النموات الخضرية على تحمل التجمد من خلال مسار مختلف لكل معاملة، ولكن كلتا المعاملتين أدتا إلى إنتاج بروتين ٢٤ كيلو دالتون 24 kDa، وكان تأثيرهما متجمعًا (Welbaum وآخرون ١٩٩٧).

- وُجد أن بادرات البروكولى أكثر تحملاً لحرارة التجمد (-٧,٥، و -١٠,٠°م) فى مرحلة تكوين الورقة الحقيقية الأولى عما فى مرحلة الأوراق الفلقية. وأدى الرش بالجلوكوز إلى زيادة تحملها لحرارة -١٢,٥°م فى مرحلة الأوراق الفلقية. كذلك أدت المعاملة بالمضاد الحيوى ليسلّين lecilline إلى زيادة القدرة على تحمل حرارة — ١٢,٥°م فى كلتا مرحلتى النمو (Deveci & Bal ٢٠٠٨).



الفصل الثالث

شد الحرارة العالية (الشدِّ الحرارى)

يُعرّف الشدّ الحرارى غالبًا بالارتفاع في درجة الحرارة لأكثر من مستوى معين حرج لمدة من الوقت تكفى لإحداث أضرار لا عودة فيها فى نمو النبات وتطوره. وعمومًا.. فإن الارتفاع المؤقت فى الحرارة فى حدود ١٠–١٥°م فوق حرارة الهواء المحيط يعتبر شدًا حراريًا أو صدمة حرارية. هذا إلا أن الشدّ الحرارى هو دالة معقدة لكل من شدة الارتفاع الحرارى، ومدته، ومعدل الزيادة فى درجة الحرارة.

أما تحمل الحرارة فيعرف بأنه قدرة النبات على النمو وإنتاج محصول اقتصادى فى ظروف الحرارة العالية. وبينما يعتقد البعض أن حرارة الليل هى العامل الأساسى المؤثر، فإن البعض الآخر يعتقد فى تأثير كل من حرارة الليل وحرارة النهار، ويعتقدون أن متوسط درجة الحرارة اليومى هو المقياس، ويعد دليلاً أفضل على استجابة النباتات للحرارة العالية، مع تأثير حرارة النهار بدور ثانوى (Wahid وآخرون ٢٠٠٧).

تقسيم النباتات حسب تحملها للحرارة

تقسم النباتات الراقية — من حيث تحملها للحرارة العالية إلى فئتين هما:

١– نباتات وسطية Mesophiles:

يتراوح الحد الأقصى لدرجة الحرارة التى يمكنها تحملها من ٣٥–٤٥°م.

٢– نباتات متوسطة التحمل للحرارة العالية Moderate Thermophiles:

يتراوح الحد الأقصى لدرجة الحرارة التى يمكنها تحملها من ٤٥–٦٠°م.

هذا.. وتموت غالبية النباتات العشبية لدى تعرضها لحرارة قريبة من ٥٠°م، بينما يمكن للأنواع الخشبية تحمل حرارة تصل إلى ٦٠°م لفترات قصيرة.

ويتحدد مدى الضرر الذى يحدث للنباتات بمدة التعرض للحرارة العالية، وبمدى توفر الرطوبة الأرضية، لتأمين معدلات نتح عالية، يمكن أن تعمل على خفض درجة حرارة الأوراق.

ونجد – بصورة عامة – أن أعضاء التخزين المتشحمة ترتفع درجة حراراتها عن حرارة الهواء المحيط بها؛ بسبب الحرارة الناتجة من النشاط الأيضى، والتى لا تتسرب منها – إلى الجو المحيط بها – بسرعة كافية. هذا.. بينما تكون حرارة الأوراق أقل من حرارة الهواء المحيط بها ببضع درجات بسبب النتح. ويستثنى من ذلك الأوراق التى تكون مواجهة تمامًا للأشعة الشمسية، حيث قد ترتفع حرارتها بضع درجات عن حرارة الهواء المحيط بها.

درجات الشدّ الحرارى الحرجة

الحرارة الحرجة threshold temperature هى الحرارة التى يبدأ بعدها نقص واضح فى النمو، ولقد تم تحديد الحرارة الحرجة الدنيا والعظمى لعديد من الأنواع النباتية. والحرارة الحرجة الدنيا هى التى يتوقف النمو والتطور إذا ما انخفضت الحرارة عنها، وكذلك الحرارة الحرجة العظمى هى التى يتوقف النمو والتطور إذا ما ارتفعت الحرارة عنها. ويبين جدول (٣-١) الحرارة الحرجة العظمى لعدد من المحاصيل الزراعية فى مراحل معينة من نموها وتطورها.

جدول (٣-١): درجات الحرارة العليا الحرجة لبعض المحاصيل الزراعية فى مراحل معينة من نموها (Wahid وآخرون ٢٠٠٧).

المحصول	الحرارة الحرجة (°م)	مرحلة النمو
القمح	٢٦	بعد تفتح الأزهار
الذرة	٣٨	امتلاء الحبوب
القطن	٤٥	الإزهار والعقد ونمو الثمار
الطماطم	٣٠	بزوغ البادرات
الكرنبيات	٢٩	الإزهار
بقول المواسم الباردة	٢٥	الإزهار
الفول السودانى	٣٤	إنتاج حبوب اللقاح
اللوبيا	٤١	الإزهار
الأرز	٣٤	محصول الحبوب

طبيعة الأضرار التى تسببها الحرارة العالية

قسّم ليفت Levitt الأضرار التى تنشأ عن تعرض النباتات للحرارة العالية إلى ثلاث فئات، كما يلى:

١- أضرار بسيطة نسبيا:

وهى الأضرار التى تترتب على رفع الحرارة العالية لمعدلات كل من النتح والتنفس؛ حيث تؤدى زيادة النتح عن قدرة الجذور على امتصاص الماء من التربة إلى ظهور أضرار الجفاف Drought Injury، بينما تؤدى زيادة معدل التنفس عن معدل البناء الضوئى إلى ظهور أضرار نقص الغذاء Starvation Injury.

وترجع الزيادة الحادة التى تحدث فى معدل النتح – عند ارتفاع درجة الحرارة – إلى عاملين؛ هما:

أ- التأثير المباشر للحرارة على انتشار الماء Diffusion Constant of Water، الذى يزيد بارتفاع الحرارة.

ب- زيادة الفارق فى ضغط بخار الماء بين المسافات البينية لأنسجة الورقة والهواء المحيط بها؛ فنجد – مثلاً – أن ارتفاع حرارة الورقة بمقدار ٥°م عن حرارة الهواء المحيط بها يعادل حدوث انخفاض فى الرطوبة النسبية للهواء المحيط بها بمقدار ٣٠٪.

ونجد تحت ظروف الحقل أن أضرار الجفاف تكون مصاحبة للحرارة العالية إلى درجة يصعب معها فصل تأثير العاملين فى المحصول، حتى مع توفر الرطوبة الأرضية أحيانًا.

ومن الطبيعى أن يتوقف النمو النباتى عند ارتفاع الحرارة إلى مستوى يقل عن الحرارة التى تقتله فى الحال. وكلما ازدادت فترة تعرض النباتات لدرجة الحرارة التى يتوقف عندها نموه احتاج إلى فترة أطول ليستعيد نموه الطبيعى بعد عودة الحرارة إلى الاعتدال. ويمكن إظهار الضرر التدريجى الذى يحدث إبّان تعرض النباتات للحرارة

العالية بقياس معدل التنفس. فبعد فترة من التعرض للحرارة العالية ينخفض معدل التنفس تدريجيا إلى أن يتوقف تمامًا مع انتهاء مخزون الغذاء فى النبات، لأن الحرارة المثلى للتنفس تزيد على تلك التى تناسب البناء الضوئى.

٢- أضرار متوسطة الشدة:

ترجع الأضرار المتوسطة الشدة للحرارة العالية إلى تأثيراتها المباشرة على المراحل الأيضية الحساسة للحرارة، والتى يترتب عليها نقص فى أحد المركبات الهامة للنبات، أو تراكم مركبات معينة إلى درجة السمية؛ مثل تراكم الأمونيا فى الحرارة العالية.

كما يدخل ضمن الأضرار المتوسطة الشدة للحرارة العالية كل من: دنترة البروتينات، وسيولة الدهون (وما يترتب عليها من حدوث أضرار بالأغشية الخلوية)، وفقدان الأحماض النووية، وخاصة حامض الـ RNA.

٣- أضرار شديدة:

تحدث الأضرار الشديدة نتيجة لحدوث تفاعلات كيميائية معينة فى درجة الحرارة الشديدة الارتفاع، يترتب عليها موت الأعضاء النباتية حتى المنخفضة الرطوبة منها؛ مثل البذور. ومن أمثلة هذه التفاعلات زيادة معدل فقد البروتينات عن معدل تمثيلها؛ الأمر الذى يترتب عليه حدوث فقد فى الإنزيمات، وأضرار بالأغشية الخلوية. وقد يحدث الضرر نتيجة زيادة معدل هدم المركبات الهامة، أو نقص معدل تمثيلها، أو لكلا السببين.

وتتميز الأضرار المباشرة للحرارة العالية عن الأضرار غير المباشرة فى أن ظهورها يمكن أن يحدث بعد فترة قصيرة من التعرض للحرارة العالية. ونجد – على سبيل المثال – أن الـ Q_{10} لدنترة البروتين عالٍ جدًا، حيث يتراوح من ٧١ – ١٢٠ لعديد من الأنواع المحصولية (عن Stevens ١٩٨١).

التغيرات الفسيولوجية التى تصاحب الشد الحرارى

يعد الشدّ الحرارى الذى تسببه الحرارة العالية مشكلة زراعية كبيرة فى كثير من المناطق بالعالم؛ فيمكن للحرارة العالية – سواء أكانت عرضية أم مستمرة – أن تُحدث تغيرات كثيرة مورفولوجية وتشريحية وفسيولوجية وكيميائية حيوية؛ وهى التى تؤثر فى النمو والتطور، وتقود إلى خفض كبير فى المحصول الاقتصادى. ويمكن الحد من التأثيرات السيئة للشدّ الحرارى بتربية أصناف جديدة قادرة على تحمل تلك الظروف، ويتعين لتحقيق هذا الهدف الإلمام الكامل بالاستجابات الفسيولوجية النباتية للحرارة العالية، وآليات تحمل الحرارة، والاستراتيجيات المكنة لتحسين تحمل النباتات للحرارة العالية.

يؤثر الشدّ الحرارى على النمو النباتى فى جميع مراحل تطوره، إلاّ أن الحد الحرارى يختلف كثيرًا بين مختلف مراحل النمو. فمثلاً.. قد تبطئ الحرارة العالية إنبات البذور أو تمنعه كلية حسب النوع النباتى ومستوى الشدّ، وفى المراحل التالية قد تؤثر الحرارة العالية سلبًا على البناء الضوئى، والتنفس، والعلاقات المائية، وثبات الأغشية، ومستويات الهرمونات ومنتجات الأيض الأولية والثانوية. كذلك نجد فى جميع مراحل التطور النباتى أن الاستجابة للشدّ الحرارى تتضمن تحفيز التعبير عن مجموعة من بروتينات الصدمة الحرارية heat shock proteins، وبروتينات أخرى ذو علاقة بالشدّ، وإنتاج المركبات النشطة فى تفاعلات الأكسدة reactive oxygen species (اختصارًا: ROS).

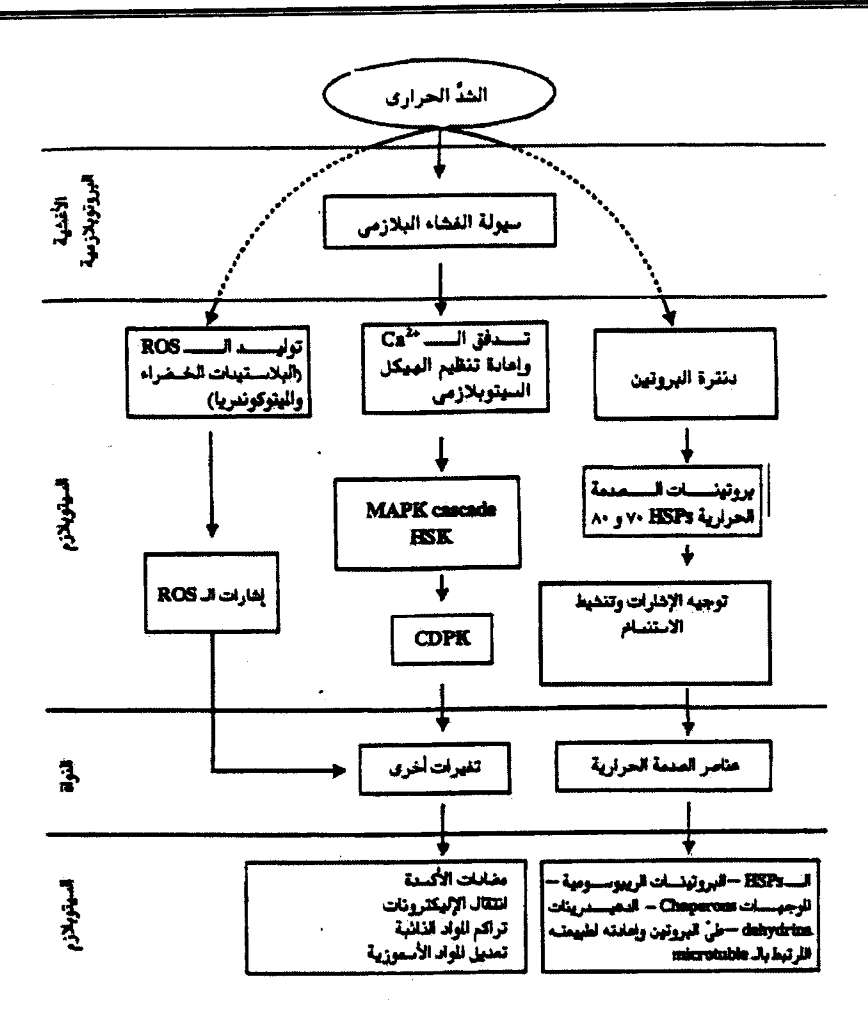
وتُحدث الحرارة العالية جدًا أضرارًا شديدة بالخلايا، وقد تموت فى خلال دقائق نتيجة لحدوث انهيار مدمر لنظام الخلية. وفى درجات الحرارة المتوسطة الارتفاع قد لا تحدث الأضرار أو يحدث موت للخلايا إلا بعد فترة طويلة من التعرض لها. ومن الأضرار المباشرة للحرارة العالية دنترة البروتين وتكتله، وزيادة سيولة دهون الأغشية

الخلوية. أما الأضرار غير المباشرة – والتى تكون أبطأ حدوثًا – فتشمل تثبيط الإنزيمات فى البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا، وتثبيط تمثيل البروتين، وتحلل البروتين، وفقد لسلامة وتمام الأغشية البروتوبلازمية. كذلك يؤثر الشدّ الحرارى على سلامة الـ microtubules. تؤدى هذه الأضرار فى نهاية الأمر إلى فقر شديد فى الغذاء المجهز، وتثبيط للنمو، وخفض فى تدفق الأيونات، وإنتاج مركبات سامة ومواد نشطة فى الأكسدة ROS.

وبعد التعرض للحرارة العالية مباشرة وتلقى الإشارات الدالة عليها تحدث تغيرات على المستوى الجزيئى تحور التعبير الجينى وتراكم الدنا الناسخ؛ مما يقود إلى تمثيل البروتينات ذات العلاقة بحالة الشدّ كإستراتيجية لتحمل الشدّ (شكل (٣-١). ويُعد التعبير عن بروتينات الصدمة الحرارية heat shock proteins (اختصارًا: HSPs) أحد أهم استراتيجيات التأقلم. تتراوح الـ HSPs فى الكتلة الجزيئية بين حوالى ١٠ إلى ٢٠٠ كيلو دالتون kDa، ولها وظائف حافظة chaperone functions، وتلعب دورًا فى إعطاء إشارات التشفير خلال الشدّ الحرارى. وتؤدى قدرة التحمل العائدة إلى الـ HSPs إلى تحسين الخصائص الفسيولوجية لعمليات مثل البناء الضوئى، وتقسيم توزيع الغذاء المجهز، واستخدامات الماء والعناصر، وثبات الأغشية البروتوبلازمية؛ مما يجعل نمو وتطور النبات ممكنًا (Wahid وآخرون ٢٠٠٧).

إن الحرارة العالية (الشدّ الحرارى) تؤثر على النباتات من عدة وجوه، كما يلى:

١- يزداد معدل التنفس، وهو الذى يعد أكثر تحملاً للحرارة العالية عن البناء الضوئى؛ بما يعنى أن الشدّ الحرارى قد يقود إلى استهلاك قدرًا أكبر من المواد الغذائية المجهزة عما ينتج من عملية البناء الضوئى؛ أى إنه يحدث استنزاف متوالٍ لعملية البناء الضوئى، وذلك أمر ذو علاقة وثيقة بكمية المحصول المنتجة.



شكل (٣–١): التغيرات الفسيولوجية التى تصاحب الشدّ الحرارى (عن Wahid وآخرين ٢٠٠٧).

MAPK, vmitogen activated protein kinases, ROS, reactive oxygen species,

HAMK, heat shock activated MAPK, HSE, heat shock element,

HSPs, heat shock proteins, CDPK, calcium dependent protein kinase, and

HSK, histidine kinase.

٢- تعد عملية البناء الضوئى شديدة الحساسية للشدّ الحرارى، وخاصة الـ Photosystem II (أو التحلل الضوئى للماء واختزال ثانى أكسيد الكربون) الذى يُثبّط بسرعة كبيرة بفعل الحرارة عن Photosystem I. هذا.. وقد تفقد مختلف الإنزيمات التى تقع خارج غشاء الـ thylakoid ثباتها بفعل الحرارة؛ مما يؤدى إلى وقف عملية البناء الضوئى.

٣- يقل أو يتوقف انتقال المواد الغذائية المجهزة من الأوراق إلى أعضاء التخزين بفعل الحرارة العالية، كما قد تضعف الحرارة ذاتها من نمو أعضاء التخزين الاقتصادية؛ مما يقلل من انتقال المواد الكربوهيدراتية إليها.

٤- قد تُحدث الحرارة العالية تغيرات هيكلية فى البروتينات (مما قد يؤثر فى وظائفها، وقد تقود إلى دنترتها، وتحفز من قابليتها للتعرض للإنزيمات المحللة لها). هذا إلاّ أن دنترة البروتين لا تحدث إلا فى الحرارة الشديدة الارتفاع.

٥- قد تؤثر الحرارة العالية على تركيب الأغشية البلازمية وثباتها، وهى أمور تتعلق بمحتواها المائى والبروتينى والدهنى والتفاعلات فيما بينها. فمع ارتفاع درجة الحرارة تصبح الدهون سائلة بدرجة متزايدة؛ مما قد يؤثر على وظيفة الأغشية، وحتى على ثبات بروتيناتها. كذلك يتأثر تركيب الأحماض الدهنية بالحرارة، وقد يرتبط ذلك بانخفاض فى محتوى الأغشية من الأحماض الدهنية غير المشبعة. يحدث ذلك كله بصورة تدريجية، مع قابلية عودة الحالة لما كانت عليه عند زوال الشد الحرارى، طالما لم يحدث موت للخلايا.

٦- يزداد تمثيل بروتينات الصدمات الحرارية heat shock proteins (وهى مجموعة من نحو ١٢ بروتينًا تتواجد بصورة طبيعية فى الخلايا) عند التعرض للشدّ الحرارى. ويستغرق حدوث الزيادة فترة تتراوح بين ٢٠-٣٠ دقيقة فى البكتيريا وعدة ساعات فى النباتات. هذا.. وتُنتج بروتينات الصدمة الحرارية - كذلك - استجابة

لكل من الأشعة فوق البنفسجية، والإيثانول، والإصابات الفيروسية. ويبدو أن هذه البروتينات تكون ضرورية للنباتات، لكن تزداد الحاجة إليها وبكميات أكبر فى الحرارة العالية، وبعضها يلعب دورًا فى تحمل الحرارة العالية (عن Singh ١٩٩٣).

ولقد أظهر الفحص المقارن للاستجابات النباتية لكل من الحرارة العالية والمنخفضة تشابهًا فى بعض الخصائص واختلافًا فى خصائص أخرى. ويدل وجود استجابات أيضية وفسيولوجية متماثلة على أن بعض عوامل القدرة على التحمل تستجيب لكل من شدّ الحرارة العالية والحرارة المنخفضة.

فمثلاً.. نجد أن الأيض المضاد للأكسدة والشدّ التأكسدى الذى تسببه العناصر النشطة فى الأكسدة active oxygen species (اختصارًا: AOS) يشكل جانبًا رئيسيًّا من الشدّ الحرارى فى النباتات، كما وجد ارتباط مماثل بينها وبين شدّ البرودة. ومن الاستجابات الأخرى الشائعة فى حالات مختلفة من الشدّ إنتاج المواد الذائبة المتوافقة compatible solute production، التى يعتقد بأنها تثبت البروتينات، وتثبت تركيب الأغشية الثنائية الطبقة، وتوفر مواد أسموزية غير سامة، وديهيدرينات dehydrins، وبروتينات لا تعرف لها وظيفة، بالإضافة إلى بروتينات الصدمة الحرارية. ومن بين بروتينات الصدمة الحرارية يلعب HSP 101 دورًا رئيسيًّا وخاصًّا فى تحمل الشدّ الحرارى (Sung وآخرون ٢٠٠٣).

ولقد تأكد توافق تحمل الشدّ الحرارى مع تحمل شدّ البرودة فى كل من الفاصوليا الخضراء، والشوفان، والذرة، واللوبيا، إلا أن ذلك التوافق ليس عامًّا حتى فى المحاصيل التى أسلفنا بيانها. فمثلاً.. لم تكن سلالة الفاصوليا Haibushi التى أُنتجت لتحمل الحرارة العالية متحملة للحرارة المنخفضة، ولم يوجد ارتباط بين تحمل الإنبات فى الحرارة المنخفضة وتحمل الحرارة فى اللوبيا (عن Rainey & Griffiths ٢٠٠٥).

الأضرار التى يسببها الشدّ الحرارى فى بعض محاصيل الخضر

الطماطم

إنبات البذور

تختلف خاصية إنبات بذور الطماطم فى الحرارة المرتفعة عن خاصية قدرة الأزهار على العقد فى تلك الظروف. وبينما يتميز صنف الطماطم Solarset بقدرة ثماره على العقد فى الحرارة العالية، فإن بذوره تنبت بصورة جيدة فى مجال حرارى يتراوح بين ١٤ و٣١°م، ولكن يقل إنباتها بشدة فى حرارة ٣٣°م، ويتوقف كليًّا – تقريبًا – فى حرارة ٣٦°م؛ بسبب دخول البذور فى حالة سكون حرارى تحت هذه الظروف. وقد وجد Cantliffe & Abebe (١٩٩٣) أن نقع بذور الطماطم فى محلول مهوّى (أى تمر فيه فقاقيع من الهواء) من نترات البوتاسيوم أو البوليثيلين جليكول ٨٠٠٠ Polyethylene glycol 8000 يصل ضغطهما الأسموزى إلى ١٢ بارًا لمدة ٦–٨ أيام على حرارة ٢٥°م أدى إلى زيادة إنبات البذور عندما زرعت بعد ذلك فى حرارة ٣٥°م، وكانت المعاملة بالبوليثيلين جليكول أفضل من المعاملة بنترات البوتاسيوم فى هذا الشأن.

النمو الخضرى والتغيرات الفسيولوجية بالنبات

أحدث الشدّ الحرارى فى الطماطم (٣٥°م مقارنة بالحرارة المثلى ٢٥°م) التأثيرات التالية فى أيض الأكسدة بالأوراق:

١– تراكم فوق أكسيد الأيدروجين H_2O_2.

٢– زيادة نشاط الإنزيم superoxidase dismutase.

٣– انخفاض نشاط الإنزيمات التالية:

catalase

guaiacol peroxidase

ascorbate peroxidase
dehydroascorbate reductase
glutathione reductase

٤- زيادة مستوى مضادات الأكسدة التالية:

ascorbate
dehydroascorbate
oxidized glutathione
reduced glutathione

وكان ذلك مصاحبًا بنقص فى النمو الخضرى.

ويبدو أن الحرارة العالية ثبّطت أولاً دورة حامض الأسكوربيك/الجلوتاثيون، ثم أثارت زيادة كبيرة فى نشاط الأكسدة؛ الأمر الذى ظهر على صورة تراكم فى فوق أكسيد الأيدروجين بالنموات الخضرية (Rivero وآخرون ٢٠٠٤).

ولقد قارن Nkansah & Ito (١٩٩٤ أ) كلا من معدلى البناء الضوئى والنتح، وتوصيل الثغور، والمحصول بين أصناف الطماطم المتحملة للحرارة العالية، وغير المتحملة للحرارة، والأصناف الاستوائية فى حرارة ٤٠°م نهارًا، و٢٣°م ليلاً، مع قياس التغيرات فى هذه الصفات الفسيولوجية — كذلك — فى حرارة ٢٠، و٣٠، و ٤٠°م فى حجرات النمو. وقد أثبتت هذه الدراسة أن أصناف الطماطم المتحملة للحرارة تنتج محصولاً أعلى من الأصناف غير المتحملة، وأن صفة المحصول ترتبط معنويًا وإيجابيًا بكل من معدلى البناء الضوئى والنتح، وتوصيل الثغور.

وفى دراسة أخرى (Nkansah & Ito ١٩٩٤ ب) وُجِدَ أن صنف الطماطم المتحمل للحرارة شوكى Shuki كان أكثر كفاءة فى إنتاج المواد الكربوهيدراتية عن الصنف غير المتحمل للحرارة العالية ستان Sataan، حيث كان الصنف المتحمل للحرارة أعلى فى وزن النباتات الطازج والجاف، وفى المساحة الورقية، والكفاءة التمثيلية، وذلك فى جميع درجات حرارة الجذور التى قورن عندها الصنفان وهى: ١٥، و ٢٠، و٢٥، و٣٠°م.

ويستدل من دراسات Starck وآخرين (١٩٩٤) أن الحرارة العالية (٤٢°م لمدة ١٠ ساعات ثم ٣٥ – ٣٨°م لمدة ١٤ ساعة) تؤدى إلى زيادة كمية عنصر الكالسيوم التى تصل إلى الثمار، وخاصة فى الأصناف التى تتحمل الحرارة العالية.

الإزهار والعقد

تكوين الجاميطات

أدى رفع درجة الحرارة إلى ٢٨°م نهارًا/ ٢٢°م ليلاً أو إلى ٣٢°م نهارًا/ ٢٦°م ليلاً – بما يحاكى الزيادة المتوقعة فى درجات الحرارة الناتجة عن ظاهرة الاحتباس الحرارى – إلى ضعف تحرر حبوب اللقاح وإنباتها فى صنفين من الطماطم، هما: NC 8288 وهو حساس للحرارة العالية، و FLA 7156 وهو متحمل لها، إلا؛ أن مدى التأثير الحرارى كان أكبر فى الصنف الحساس. كذلك أظهرت حبوب اللقاح التى لم تتحرر وظلّت فى المتوك ضعفًا شديدًا فى إنباتها (Sato & Peet ٢٠٠٥).

ولقد لوحظ أن لتعريض براعم وأزهار الطماطم لحرارة ٤٠°م لمدة يومين متتاليين أثر على تكوين الجاميطات بشدة، حيث أدت معاملة الحرارة المرتفعة قبل تفتح الأزهار – بثمانية إلى تسعة أيام – إلى اندثار الخلايا الأربع الأحادية لحبوب اللقاح pollen tetrad، وظهرت بها علامات البلزمة، والتجلط، وازداد حجم الخلايا المغذية. كما أدى تعريض النباتات لحرارة ٤٠ – ٤٥°م لمدة ٣ ساعات فقط خلال هذه المرحلة – أى قبل تفتح الزهرة بثمانية إلى تسعة أيام – إلى إحداث نقص كبير فى نسبة العقد، واستمر الضرر بمعدل كبير عندما أجريت معاملة الحرارة المرتفعة قبل تفتح الزهرة بخمسة أيام، حيث كانت حبوب اللقاح فى طور التكوين، بينما لم يكن للحرارة المرتفعة تأثير يذكر على حبوب اللقاح الناضجة عندما أجريت المعاملة قبل تفتح الزهرة بيوم واحد، أو ثلاثة أيام.

ومع أنه لم تلاحظ أية نموات غير طبيعية فى مبايض الأزهار عندما فحصت بعد معاملة التعريض للحرارة المرتفعة مباشرة، إلا أنه لوحظ حدوث تدهور واندثار فى

الخلايا الأمية الأنثوية، وذلك عند إجراء الفحص بعد المعاملة بخمسة أيام. وقد تبين من هذه الدراسة أن تأثير الحرارة المرتفعة على كل من الجاميطات المذكرة والمؤنثة يقل تدريجيًا، وذلك مع تأخير معاملة التعريض للحرارة العالية، إلى أن تلاشى التأثير تمامًا عند إجراء المعاملة قبل تفتح الأزهار بيوم واحد إلى ثلاثة أيام.

وقد تأكد أن إنتاج حبوب اللقاح يكون أقل بكثير فى درجات الحرارة العالية عما فى درجات الحرارة المناسبة. وأمكن تقدير ذلك كميًا؛ إذ وجد أن كمية حبوب اللقاح المنتجة فى كل زهرة بلغت ٠,٥٤، و ٠,٦ ملليجرام فى أحد الأصناف القادرة على العقد فى الجو الحار عند تعريض النباتات لحرارة عالية (٣٣°م نهارًا/ ٢٣°م ليلاً)، وحرارة معتدلة (٢٣°م نهارًا/ ١٧°م ليلاً)، على التوالى. وبالمقارنة فقد انخفضت كمية حبوب اللقاح المنتجة فى كل زهرة فى أحد الأصناف الحساسة للحرارة من ١,٢١ ملليجرام فى معاملة الحرارة المعتدلة إلى ٠,٤٥ ملليجرام فى معاملة الحرارة العالية. ويتضح مما تقدم مدى زيادة تأثر إنتاج حبوب اللقاح بالحرارة العالية فى الصنف الحساس عنه فى الصنف المقاوم.

وعمومًا لا تتأثر حيوية الكيس الجنينى بنفس القدر الذى تتأثر به حبوب اللقاح، خاصة عندما لا يزيد ارتفاع الحرارة عن ٣٣°م، والدليل على ذلك أن العقد يتحسّن فى الأزهار المعاملة بالحرارة العالية عندما تلقح مياسمها بحبوب لقاح مأخوذة من نباتات لم تتعرض للحرارة المرتفعة.

وإلى جانب ما تقدم بيانه.. فإن الحرارة المرتفعة تؤدى إلى ضعف تكوين الإندوثيسيم endothecium (النسيج المسئول عن انتثار حبوب اللقاح) وقد تأكد ذلك عندما عرضت النباتات لحرارة ٢٢°م ليلاً، مع ٣٩°م نهارًا.

إنبات حبوب اللقاح

لوحظ أن أفضل حرارة لإنبات حبوب اللقاح كانت ٢٩,٤°م، حيث بلغت نسبة الإنبات عندها ٦٦٪ بعد ٦٠ ساعة، وكانت هذه الدرجة كذلك أفضل درجة لنمو

الأنابيب اللقاحية. هذا.. بينما كان أقل معدل لنمو أنابيب اللقاح عند حرارة ٣٧,٨°م. وبالمقارنة فقد لوحظ فى دراسة أخرى أن درجة الحرارة المثلى لإنبات حبوب اللقاح كانت ٢٥°م، وانخفض الإنبات بمقدار ٤٠٪ عند حرارة ٣٥°م، وبمقدار ٨٨٪ عند حرارة ٣٧,٥°م. كما وُجِدَ أن أفضل حرارة لإنبات حبوب اللقاح فى بيئة صناعية كانت ٢٧°م، وأدى ارتفاع الحرارة عن ذلك إلى نقص سرعة الإنبات. وبمقارنة صنفين أحدهما حساس، والآخر مقاوم للحرارة المرتفعة، وجد أن نسبة إنبات حبوب اللقاح كانت ٧٣٪، و٦٦٪ فى الصنف المقاوم، وذلك عندما عرضت النباتات لحرارة معتدلة (٢٣°م نهارًا/ ١٧°م ليلاً)، وحرارة عالية (٣٣°م نهارًا/ ٢٣°م ليلاً) على التوالى، هذا.. بينما انخفضت نسبة إنبات حبوب اللقاح فى الصنف الحساس من ٦٧٪ فى الحرارة المعتدلة إلى ٤٨٪ فى الحرارة العالية (عن El-Ahmadi ١٩٧٧). وقد وجد Tarakanov وآخرون (١٩٧٨) أن معاملة الحرارة المميتة لحبوب لقاح ٧ أصناف من الطماطم تراوحت بين ٤٠°م و٤٥°م لمدة ٦ ساعات.

وقد درس Preil & Seimann (١٩٦٩) التفاعل بين الحرارة العالية والرطوبة النسبية، ودور هذا التفاعل فى التأثير على حيوية حبوب اللقاح، فوجدا أن إنباتها كان جيدًا فى حرارة ٣٥°م عندما كانت الرطوبة النسبية ٣٥٪، لكن الإنبات توقف كلية تقريبًا عندما كانت الرطوبة النسبية ١٠٠٪.

كذلك درس Weaver & Timm (١٩٨٩) نسبة عقد الثمار، ونسبة إنبات حبوب اللقاح، ونمو الأنابيب اللقاحية فى عدة أصناف وسلالات منتخبة من الطماطم بعد تعريضها لحرارة ٤٠°م لمدة ٦٠ دقيقة، ووجدا ارتباطا معنويًا وعاليًا جدًّا بين عقد الثمار وكل من إنبات حبوب اللقاح (r = ٠,٩٨٨)، ونمو الأنابيب اللقاحية (r = ٠,٨١٥).

التأثير على مياسم الأزهار

وجد Charles & Harris (١٩٧٢) أن عقد ثمار الطماطم ينخفض فى حرارة ٢٦,٧°م،

وأن ذلك يرجع بصفة رئيسية إلى بروز المياسم وضعف قابليتها لاستقبال حبوب اللقاح، حيث يصاحب بروز المياسم – عادة – جفافها وذبولها.

نمو وتكوين الجنين

وجد أن أكبر تأثير للحرارة المرتفعة على الجنين يكون فى المراحل المبكرة من نموه وتكوينه. فعندما عرضت البويضات المخصبة لحرارة ٤٠°م لمدة ٤ ساعات بعد التلقيح بنحو ١٨ ساعة، فشلت فى إكمال نموها. وعندما أجريت هذه المعاملة بعد التلقيح بيوم إلى أربعة أيام اندثر الإندوسيرم وتدهور. أما عندما أجريت معاملة التعريض للحرارة العالية بعد التلقيح بخمسة أيام، لم تنتج عنها أية أعراض غير طبيعية.

محتوى الأعضاء الزهرية من منظمات النمو

درس Kuo & Tsai (١٩٨٤) مستوى الجبريللينات والأوكسينات فى البراعم الزهرية، والأزهار المتفتحة، والثمار العاقدة حديثًا عند تعريض النبات أثناء أى من هذه المراحل لدرجة حرارة ٣٨°م لمدة ٥ ساعات، ووجدا أن هذه المعاملة أحدثت نقصًا فى مستوى كل من الجبريللينات والأوكسينات، خاصة فى البراعم الزهرية والثمار العاقدة.

محتوى الأعضاء الزهرية من البرولين

يحاول الباحثون دراسة تأثير التعرض للحرارة العالية على محتوى النبات من البرولين بمعلومية أن البرولين يتراكم فى أوراق الطماطم عندما يتعرض النبات لظروف بيئية قاسية، مثل: التعرض للملوحة العالية، أو النقص الشديد، أو الزيادة الشديدة فى الرطوبة الأرضية. وقد وجدت اختلافات وراثية بين سلالات الطماطم فى هذه الخاصية. وفى محاولة لدراسة تأثير درجة الحرارة على محتوى البرولين وعلاقة ذلك بالعقد، قام Kuo وآخرون (١٩٨٦) بتقدير محتوى المتوك، وحبوب اللقاح، وأمتعة الأزهار، والأوراق من البرولين فى درجات الحرارة المختلفة، فوجدوا أن محتوى المتوك من البرولين ازداد مع تقدم نمو الأجزاء الزهرية، ووصل المحتوى إلى أقصى مداه عند تفتح الأزهار. أما المتاع فكان محتواه من البرولين أقل من محتوى المتوك، ولم يرتفع مع تقدم

نمو البرعم الزهرى. وقد أدت الحرارة المرتفعة إلى خفض مستوى البرولين فى كل من المتوك، وأمتعة الأزهار أيًّا كانت مرحلة نموها. وبالمقارنة.. فقد كان مستوى البرولين فى الأوراق أقل مما فى متوك، أو أمتعة الأزهار، إلا أن معاملة الحرارة المرتفعة أدت إلى زيادة محتواها من البرولين. وقد وجدوا أن حبوب اللقاح التى جمعت فى المواسم الحارة احتوت على برولين أقل مما فى تلك التى جمعت فى المواسم الباردة. كما أدت إضافة البرولين إلى بيئة إنبات حبوب اللقاح إلى زيادة معدلات الإنبات، وزيادة مقاومتها للحرارة. واستنادًا لهذه النتائج، وضع الباحثون افتراضًا بأن ارتفاع درجة الحرارة يؤدى إلى ارتفاع نسبة البرولين فى الأوراق على حساب نسبته فى المتوك، بينما يعد المحتوى المرتفع للبرولين فى المتوك ضروريًّا لإكساب حبوب اللقاح القدرة على الإنبات فى الحرارة العالية.

الخيار

النمو الجذرى

أدى رفع درجة حرارة الجذور إلى ما بين ٣٥، و٣٨°م إلى نقص الوزن الجاف للجذور، ومساحة الأوراق ومحتواها من معظم العناصر المغذية، مع زيادة واضحة فى معدل تنفس الجذور، وفى محتواها من السكريات، وخاصة سكر الرافينوز raffinose، ونقص فى محتواها من البكتين، وحمضى الماليك والفيوماريك. ويعتقد بأن ضعف نمو جذور الخيار وتردّيها فى أداء وظائفها فى الحرارة العالية مرده إلى تردّى أيض المواد الكربوهيدراتية فى تلك الظروف (Du & Tachibana ١٩٩٤).

وكانت أفضل حرارة للمحاليل المغذية فى المزارع المائية (غير الدوارة non circulating) للخيار هى ٢٨°م، حيث أعطت أقل وزن جاف ووزن طازج لكل من الجذور، والسيقان، والأوراق، وذلك مقارنة بدرجات الحرارة الأقل من ذلك (١٢، و٢٠°م)، ولكن لم يختلف تأثير حرارة ٢٨°م للمحلول المغذى عن حرارة ٣٦°م. وكانت دلائل النمو — مقارنة بالنمو عند حرارة جذور مقدارها ٢٨°م — كما يلى:

الوزن الجاف: ٨٨,٩٪ عند ١٢°م، و٢٦,٨٪ عند ٢٠°م، و٥,٠٪ عند ٣٦°م.

المساحة الورقية: ٩٢,٢٪ عند ١٢°م، و٣٠,٠٪ عند ٢٠°م، و٦,٩٪ عند ٣٦°م.

طول الجذور: ٩٩,٥٪ عند ١٢°م، و٦٧,٦٪ عند ٢٠°م، و٤٤,٣٪ عند ٣٦°م.

هذا وقد ازدادت أعداد أوعية الخشب ومساحتها فى الجذور بزيادة حرارة المحلول المغذى (Daskalaki & Burrage ١٩٩٧).

وأدى تعريض جذور الخيار فى مزرعة مائية لحرارة عالية (٢٥، أو ٣٥، أو ٣٨°م لمدة ١٠ أيام) إلى إحداث انخفاض حاد فى تركيز السيتوكينين، وكان التغير تدريجيًّا عند ٣٥°م، ولكنه كان سريعًا جدًّا فى حرارة ٣٨°م، وأكثر وضوحًا فى الجذور عما فى الأوراق. وبعد ٥ أيام من تعريض الجذور لحرارة ٣٨°م كان تركيز السيتوكينينات فى الجذور منخفضًا جدًّا، أما بعد ١٠ أيام فإن تركيزها لم يكن ملحوظًا لا فى الجذور ولا فى الأوراق. وكان السيتوكينين Zeatin riboside فى الأوراق أكثر حساسية لحرارة الجذور العالية عن السيتوكينينات الأخرى. ويعتقد بأن تثبيط تمثيل السيتوكينين فى الجذور فى الحرارة العالية، وما يترتب عليه من انخفاض فى مستوى السيتوكينين فى الأوراق هو العامل الأساسى المسئول عن تثبيط نمو نباتات الخيار التى تتعرض جذورها لحرارة عالية (Tachibana وآخرون ١٩٩٧).

البناء الضوئى

يتأثر معدل البناء الضوئى فى الخيار كثيرًا بدرجة حرارة الهواء. وقد وجد Xu وآخرون (١٩٩٣) أن أعلى معدل للبناء الضوئى فى الزراعات المحمية حدث فى حرارة تراوحت بين ٢٥، و٣٣°م، بينما تراوح المجال الحرارى الذى حدثت فيه عملية البناء الضوئى بين ٣ و٦°م فى حده الأدنى إلى ما بين ٤٢ و٤٤°م فى حده الأقصى، وكان المتوسط العام لمعدل البناء الضوئى على مدى عامين هو ٩-٢٢ ميكرومول ثانى أكسيد كربون/م^{٢}/ثانية. وأوضحت الدراسة أن معدل البناء الضوئى تراوح فى الأوراق الصغيرة

(بعد ١٠ أيام من ظهورها) بين ١٥، و٢١ ميكرومولاً من ثانى أكسيد الكربون/م٢/ثانية بمعامل حرارى (Q_{10}) يتراوح بين ١،٦، و٢،١، وكان هذا المعدل أعلى عما فى الأوراق الكبيرة (بعد أكثر من ٢٠ يومًا من ظهورها). وقد ازداد معدل التنفس، ونقطة التعويض الضوئى Compensation point، ونقطة التشبع الضوئى Light Saturation point.. ازدادت جميعها بارتفاع درجة الحرارة. وبارتفاع الحرارة عن ٤٠°م تناقص معدل التنفس، ولم تزداد نقطة التشبع الضوئى عندما وصلت الحرارة إلى الدرجة المثلى. وقد كانت نسبة البناء الضوئى إلى التنفس أعلى ما يمكن بين ١٥، و٣٠°م.

وقد أوضحت دراسات Oda وآخرون (١٩٩٣) أن استشعاع أو تفلور الكلوروفيل Chlorophyll Fluorescence انخفض قليلاً عندما تعرضت نباتات الخيار لحرارة ٤٢، أو ٤٤° لمدة ساعتين إلى ثلاث ساعات، ولكنه انخفض بوضوح لدى تعريض النباتات لحرارة ٤٦°م للفترة ذاتها، وذلك مقارنة بمستوى التفلور فى حرارة ٢٥°م. كذلك قلّ تفلور الكلوروفيل جوهريًا فى النباتات التى تعرضت لفرق فى ضغط بخار الماء Vapor Pressure Deficit قدره ٠،٣ كيلو باسكال kPa على حرارة ٤٦°م، مقارنة بتلك التى تعرضت لفرق فى ضغط بخار الماء قدره ٤،٨ كيلو باسكال. وقد نقصت شدة التفلور إلى ٥٪ من مستواها على ٢٥°م بمجرد تعرض النباتات للرطوبة العالية فى حرارة ٤٦°م. وعلى الرغم من أن شدة التفلور عادت إلى ٥٥٪ من الكنترول بعد يومين من انتهاء المعاملة، إلا أنها لم تستعد سوى ٧٠٪ من شدتها الطبيعية حتى بعد انقضاء خمسة أيام على حرارة ٢٥°م. وقد أرجع النقص فى تفلور الكلوروفيل إلى الارتفاع فى درجة حرارة الأوراق مع الارتفاع فى الرطوبة النسبية التى أوقفت النتح. كذلك نقصت شدة تفلور الكلوروفيل جوهريًا فى البادرات التى عرضت لحرارة ٤٦°م مع رطوبة أرضية مقدارها ٥٥٪ لمدة ساعة إلى ثلاث ساعات، بينما كان النقص فى التفلور بسيطًا عندما كانت الرطوبة الأرضية ٩٧٪، مع التعرض لدرجة الحرارة ذاتها. ففى ظروف الرطوبة الأرضية المنخفضة ارتفعت درجة حرارة الأوراق تدريجيًا إلى مستويات أعلى عما فى

النباتات التى نمت فى ظروف رطوبة أرضية مرتفعة والتى ازداد فيها معدل النتح. ويستفاد من هذه الدراسة أنه يمكن الاعتماد على خاصية تفلور الكلوروفيل فى دراسات الشدّ الحرارى وتأثيره على جهاز البناء الضوئى، وإمكان تجنب أضرار الحرارة العالية بخفض الرطوبة النسبية وزيادة الرطوبة الأرضية.

البسلة

أوضحت دراسات Lenne & Douce (١٩٩٤) أن البسلة تستجيب للتغير الحاد فى درجة الحرارة من ٢٥°م إلى ٤٠°م — عند التعرض للدرجة الأخيرة لمدة ثلاث ساعات — بتكوين نوع خاص من بروتين الصدمة الحرارية heat shock protein (وهو ٢٢ كيلو دالتون 22 kDa) أطلق عليه اسم HSP22. وقد أنتج هذا البروتين وتراكم فى الـ matrix بميتوكوندريات الأوراق الخضراء.

وفى دراسة أخرى وجد أن البسلة تستجيب لمعاملة التعرض لحرارة ٣٧°م لمدة ٦ ساعات بتكوين ثلاثة أنواع من بروتين الصدمة الحرارية، ذات وزن جزيئى منخفض وذات كتلة جزيئية molecular mass قدرها ٢٢ كيلو دالتون 22 kDa، ويتأثر تكوين تلك البروتينات بجينات مختلفة. تتكون بروتينات الصدمة الحرارية بسرعة شديدة وتتجمع فى الميتوكوندريات، حيث يمكن ملاحظتها فى خلال ٤٥ دقيقة من المعاملة، ويزداد تركيزها فى الميتوكوندريا إلى أن يصل إلى حد أقصى قدره ٢٪ من بروتين الميتوكوندريات الكلى. ويبقى تركيز بروتين الصدمة الحرارية مرتفعًا لمدة تزيد عن ٦ أيام بعد زوال الشد الحرارى (Wood وآخرون ١٩٩٨).

القدرة المكتسبة على تحمل الانحرافات الحرارية الحادة

إن القدرة المكتسبة على تحمل الانحرافات الحادة فى درجة الحرارة هى صفة معقدة تعتمد على عديد من الخصائص. ويمكن التوصل إلى القدرة على البقاء فى شدٍّ حرارى قاتل بالتعريض لشدٍّ حرارى معتدل غير قاتل. تعرف تلك القدرة المستحثة على

البقاء فى شدٍّ قاتل بطبيعته باسم القدرة المكتسبة على تحمل الحرارة acquired thermotolerance فى حالة الصدمة الحرارية (التعرض للحرارة العالية)، وباسم القدرة المكتسبة على تحمل أضرار البرودة acquired chilling tolerance فى المدى الحرارى بين صفر، و ١٥ °م، والقدرة المكتسبة على تحمل التجمد acquired freezing tolerance فى حرارة تقل عن الصفر المئوى تتكون فيها البلّورات الثلجية داخل الأنسجة النباتية (Sung وآخرون ٢٠٠٣).

يعنى يتحمل الحرارة العالية thermotolerance قدرة الكائن الحى على البقاء فى حرارة تعد – بالنسبة له – شديدة الارتفاع. والنباتات – كالكائنات الأخرى – تمتلك القابلية لاكتساب القدرة على تحمل الحرارة (التحمل المكتسب للحرارة acquired themotolerance) سريعًا – ربما فى خلال ساعات؛ مما يمكنها من البقاء فى حرارة تُعد قاتلة لها. ويتم اكتساب صفة القدرة على تحمل الحرارة العالية تلقائيًّا بصورة ذاتية خلوية، ويكون ذلك – عادة – نتيجة لسبق تعرض النبات لمعاملة حرارية غير قاتلة قد تكون لفترة قصيرة. ويؤدى اكتساب النبات لمستوى عالٍ من القدرة على تحمل الحرارة العالية إلى حماية الخلايا والنبات من الحرارة القاتلة التى قد يتعرض لها لاحقًا. كذلك يمكن أن تستحث القدرة على تحمل الحرارة بفعل حدوث زيادة تدريجية فى الحرارة إلى مستوى قاتل. وهذا الاستحثاث يتضمن عددًا من العمليات، منها: تكوين الـ HSPs، ودورات أيض الـ ABA (حامض الأبسيسك)، والـ ROS، والـ SA (حامض السلسيلك). ويعد ذلك كله بمثابة تغيير مؤقت فى برمجة التعبير الجينى المؤثر فى كل تلك الصفات والعمليات، وهو ما يعرف باسم الاستجابة للصدمة الحرارية heat shock response (Wahid وآخرون ٢٠٠٧).

وسائل حماية النباتات لنفسها من أضرار الحرارة العالية

تقوم النباتات بحماية نفسها من أضرار الحرارة العالية بإحدى وسيلتين، هما:

١- تفادى أضرار الحرارة Heat Avoidance:

لا يعنى تفادى النبات لأضرار الحرارة العالية أن تكون درجة حرارته أقل من درجة حرارة الهواء المحيط، وإنما أن يكون النبات قادرًا على البقاء فى درجات حرارة لا تتحملها نباتات أخرى، وهو ما يحدث بالوسائل التالية:

أ- العزل الحرارى Insulation:

وهو ما يحدث فى جذوع الأشجار الكبيرة بفعل طبقة القلف السميكة التى توجد فيها.

ب- انخفاض معدل التنفس:

ربما لا يكون هذا العامل مهما فى الأوراق (حيث يكون تأثيره قليلاً جدًّا مقارنة بالحرارة التى تكتسبها الأوراق من جراء تعرضها للأشعة الشمسية)، ولكنه يكتسب أهمية كبيرة فى أعضاء التخزين الشحمية.

ج- عدم اكتساب الأوراق الطاقة الضوئية الساقطة عليها:

يتحقق ذلك من خلال ظاهرة الانعكاس Reflectance، والنفاذية Transmissivity، علمًا بأن وجود الشعيرات الزغبية وغيرها من الزوائد الورقية يزيد من ظاهرة انعكاس الضوء. وتتأثر النفاذية بلون الأوراق وسمكها، حيث تزيد فى الأوراق ذات اللون الأخضر الفاتح والقليلة السمك.

ومن العوامل الأخرى المؤثرة فى هذا الشأن اتجاه وضع الأوراق وحركتها.

د- التبريد بالنتح Transpirational cooling:

يعتقد أن النتح يزيل نحو ٢٣٪ من الحرارة التى يكتسبها النبات خلال فترة منتصف النهار، وتتوقف مدى فاعليته على سرعة الرياح، ودرجة الحرارة، والرطوبة النسبية. فعن طريق النتح يمكن أن تنخفض حرارة الورقة عن حرارة الهواء المحيط بها

بمقدار ١٠ درجات مئوية أو أكثر. وفى قطن بيما Pima يزداد عقد اللوز ويزداد المحصول فى الأصناف المتحملة للحرارة العالية، فى الوقت الذى يزداد فيها توصيل الثغور والقدرة على البناء الضوئى. ومع زيادة درجة توصيل الثغور يقل الارتفاع فى حرارة الأوراق (عن Hall ١٩٩٢).

ولقد وجدت فى القمح تباينات كبيرة بين الأصناف فى قدرة أوراقها على خفض حرارتها canopy temperature، حيث يمكن أن يصل الانخفاض فى بعض التراكيب الوراثية إلى ١٠ درجات مئوية اقل من حرارة الهواء المحيط فى الجو الحار والرطوبة المنخفضة. وترتبط تلك الخاصية بتحمل الحرارة العالية، ويمكن قياسها — بالـ infrared thermometry، إلاّ أن تلك الاختلافات لا يمكن تحديدها فى الجو الرطب، الذى ينخفض فيه تبريد الأوراق بالبخر إلى درجة لا يعتد بها. وعلى الرغم من ذلك، فإن الأوراق تبقى على ثغورها مفتوحة لتسمح بدخول ثانى أكسيد الكربون، ويمكن أن تقود الاختلافات فى تثبيت ثانى أكسيد الكربون إلى اختلافات فى درجة توصيل الثغور، وهى الصفة التى يمكن قياسها باستعمال porometer (Reynolds وآخرون ٢٠٠١).

٢- تحمل الحرارة Heat Tolerance:

فى حالة تحمل الحرارة نجد أن الأنسجة التى ترتفع حرارتها تحافظ على وظائف حيوية معينة تكون ضرورية لعملية التحمل قد يكون منها: زيادة معدل البناء الضوئى، ونقص معدل التنفس، وعدم تراكم السموم أو إبطال مفعولها، ووجود بعض المركبات الهامة بتركيزات عالية؛ فلا يترتب على نقصها قليلاً — بفعل الحرارة العالية — تأثيرات ضارة على النبات. كما قد يحدث التحمل للحرارة العالية نتيجة زيادة ثبات البروتينات تحت هذه الظروف، أو سرعة عودتها إلى حالتها الطبيعية إذا ما حدثت لها دنترة جزئية.

الأساس الفسيولوجى لتحمل الحرارة العالية

تُظهر بعض الأنواع النباتية تحملاً كبيرًا للحرارة العالية من خلال ظواهر فسيولوجية محددة، لعل أبرزها أيض حامض الكراسيولاسيان Crassulacean Acid Metabolism

(تكتب اختصارًا: CAM). ففى هذه الحالة (حالة الـ CAM) تغلق الثغور فى أشد ساعات النهار حرارة. كما أن النباتات ذات مسار البناء الضوئى C_4 أكثر تحملاً للحرارة العالية عن النباتات ذى المسار C_3؛ لأن الأولى أكثر كفاءة فى الاستفادة من التركيزات المنخفضة لغاز ثانى أكسيد الكربون فى المسافات البينية للخلايا. كذلك تتوفر بين النباتات الـ C_4 — التى تتباين فى تحملها للحرارة العالية — اختلافات فى مدى ثبات إنزيم RuBP carboxylase فى ظروف الحرارة العالية، وفى كفاءة تمثيل الغذاء المجهز بها، وانتقاله إلى الأعضاء الأكثر تأثرًا بالحرارة العالية. هذا.. إضافة إلى صفات فسيولوجية أخرى عديدة تلعب دورًا هامًّا فى تحمل النباتات للشدّ الحرارى.

إن النباتات تستجيب للشدّ الحرارى بعدد من الآليات التى تتعامل بها مع الحرارة العالية، منها: المحافظة على ثبات الأغشية البروتوبلازمية، والتخلص من الـ ROS، وإنتاج مضادات الأكسدة، وتراكم وتعديل المركبات الذائبة المتوافقة compatible solutes، واستحثاث تفاعلات إنزيم البروتين كينيز المنَشّط بالميتوجن mitogen-activated protein kinase (اختصارًا: MAPK) وإنزيم البروتين كينيز المعتمد على الكالسيوم calcium-dependent protein kinase (اختصارًا: CDPK)، وتنشيط الإشارات المرافقة chaperone signaling والتشفير الوراثى transcription. تُمكّن هذه الآليات — التى تتم على المستوى الجزيئى — النباتات على تحمل الشدّ الحرارى.

ومن أهم آليات تحمل الحرارة، ما يلى:

١- ثبات الأغشية البلازمية تحت ظروف الشدّ.

٢- الثبات الحرارى للـ photosystem II.

٣- ج- سرعة انتقال نواتج البناء الضوئى.

٤- د- حركة مخزون الساق من الغذاء المخزن فيه.

٥- هـ - التنظيم الأسموزى (Singh ١٩٩٣).

إن القدرة على استمرار عملية البناء الضوئى بمعدلات عالية فى ظروف الشدّ الحرارى ترتبط إيجابيًّا بتحمل الحرارة. وتتأثر تلك القدرة فى القمح – على سبيل المثال– بصفة بقاء الأوراق خضراء حتى مرحلة متأخرة من التطور النباتى (صفة stay-green)، فضلاً عن وجود تباينات واسعة بين أصناف القمح فى المحتوى الكلوروفيلى للأوراق وفى معدل البناء الضوئى فى ظروف الشدّ الحرارى. وترتبط صفة تحمل الحرارة – كذلك – بدرجة توصيل الثغور فى ورقة العلم. ومن بين الصفات التى ترتبط بتحمل الحرارة درجة ثبات الأغشية البروتوبلازمية تحت ظروف الشدّ (التى يعبر عنها بدرجة التسرب الأيونى)، وهى التى قيست فى ورقة العلم وقت تفتح الأزهار، والتى وجد أنها ترتبط بدرجة الثبات فى طور البادرة (Reynolds وآخرون ٢٠٠١).

أيض حامض الكراسيولاسيان CAM

يتميز الـ CAM بحدوث تغيرات يومية فى محتوى الأحماض العضوية، يقابلها تغيرات عكسية فى المواد الكربوهيدراتية، فنجد أن حامض الماليك يتراكم تدريجيًّا أثناء الظلام، بينما تختفى المواد الكربوهيدراتية. ويعقب ذلك – خلال فترة الضوء التالية – اختفاء حامض الماليك وظهور المواد الكربوهيدراتية نتيجة لتمثيل غاز ثانى أكسيد الكربون – الناتج من حامض الماليك – بواسطة النباتات ذات المسار الأيضى C3 . وعليه.. فإن الـ CAM يعرَّف بأنه "تدفق الكربون" Carbon Flow من خلال حامض الماليك المتكون فى الظلام؛ حيث يصبح حامض الماليك هو مصدر الكربون لتمثيل غاز ثانى أكسيد الكربون فى عملية البناء الضوئى.

كذلك يتميز الـ CAM بأن الثغور تفتح ليلاً وتغلق نهارًا، وبذا.. فإن غاز ثانى أكسيد الكربون الخارجى يخزن فى حامض الماليك ليلاً، ثم يستعمل فى البناء الضوئى فى النباتات ذات المسار C_3 خلال النهار التالى.

وأخيرًا.. فإن النباتات التى يحدث فيها الـ CAM تتميز أيضًا بكونها عصيرية، وباحتواء أوراقها وسيقانها على عدة طبقات من الهيبودرمز hypoderms (تحت البشرة)

التى تحيط بخلايا برانشيمية كبيرة تحتوى على بلاستيدات خضراء، ويوجد فيها فجوات كبيرة لخزن الماء، وكمية صغيرة من السيتوبلازم المحيط بتلك الفجوات. ويعتقد أن الـ CAM يحدث فى هذه الخلايا، وأن الفجوات الكبيرة التى توجد بها هى لتخزين حامض الماليك.

ونظرًا لانغلاق الثغور أثناء النهار فى النباتات التى يحدث فيها الـ CAM.. فإن حصة النتح Transpiration Ration (وهى نسبة وزن الماء المفقود بالنتح إلى وزن الكربون المكتسب بالبناء الضوئى) تكون منخفضة فيها؛ حيث تتراوح من ٤٠– ٧٢، مقارنة بنحو ١٠٠–٣٠٠ فى النباتات ذات المسار C_4، وأكثر من ٥٠٠ فى النباتات ذات المسار C_3 التى لا يحدث فيها الـ CAM.

البناء الضوئى ذو المسار C_4

للمسار الضوئى C_4 مميزات خاصة فى ظروف الحرارة العالية والجفاف – مقارنة بالمسار C_3 – فهو يفيد فى تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى خلايا الحزم؛ الأمر الذى يسمح باستمرار دورة كالفن Calvin Cycle فى ظروف أفضل بالنسبة لتركيز غاز ثانى أكسيد الكربون المُحَدِّد لمعدل البناء الضوئى أثناء ارتفاع درجات الحرارة.

وبرغم أن هذه الخاصية التى توجد فى النباتات الـ C_4 تزداد أهميتها للنبات مع ارتفاع درجة الحرارة – وخاصة عندما يكون هذا الارتفاع مصاحبًا بزيادة فى شدة الإضاءة – إلاّ أنه تقل أهميتها فى الحرارة المنخفضة، وتنعدم تمامًا فى الإضاءة الضعيفة ومع ذلك فلا تعرف أية مساوئ للمسار الأيضى C_4.

التباين فى ثبات إنزيم RuBPcase فى الحرارة العالية

إن الإنزيم الرئيسى فى عملية البناء الضوئى فى النباتات ذات المسار C_3 هو ribulose bisphosphate carboxylase (اختصارًا: RuBPcase)، وهو إنزيم حساس للحرارة العالية. وتوضح الدراسات التى أجريت فى هذا الشأن وجود اختلافات وراثية

فى مدى ثبات هذا الإنزيم بين الأصناف التى تختلف فى مدى تحملها للحرارة العالية.

فمثلاً.. تعقد ثمار صنف الطماطم سالادت Saladette فى الحرارة العالية نسبيًا، بينما لا يحدث ذلك فى الصنف الحساس روما Roma، وقد أرجع ذلك – جزئيًا – إلى اختلاف الصنفين فى مدى تأثر البناء الضوئى فيهما بالحرارة العالية، حيث كان الصنف سالادت أقل تأثرًا. وبمقارنة نشاط إنزيم RuBPcase فيهما .. وجد أن تعريض الإنزيم خارج النبات *in vitro* لحرارة ٥٠°م لمدة ساعة خفض نشاطه بمقدار ٧٥٪ فى الصنف روما، بينما لم يكن للمعاملة أية تأثيرات على نشاطه فى الصنف سالادت.

التباين فى كفاءة انتقال الغذاء المجهز إلى الأعضاء النباتية الأكثر تأثرًا بالحرارة العالية

تلعب القدرة على نقل الغذاء المجهز – بكفاءة عالية – تحت ظروف الحرارة العالية دورًا هامًا فى النباتات التى تزرع لأجل ثمارها أو بذورها. فمن المعروف أن سقوط الأزهار والثمار الحديثة العقد يعد أمرًا شائع الحدوث فى درجات الحرارة العالية، وتلزم زيادة كفاءة انتقال الغذاء من أماكن تصنيعه بالأوراق إلى تلك الأعضاء النباتية لتجنب سقوطها؛ نظرًا لزيادة معدل التنفس؛ ومن ثم زيادة استهلاك المواد الكربوهيدراتية أثناء ارتفاع درجة الحرارة. ولقد وجد أن صنف الطماطم سالاديت – الأكثر قدرة على العقد فى الحرارة العالية عن الصنف الحساس روما – أكثر كفاءة فى نقل الغذاء المجهز من الأوراق إلى الأزهار والثمار الحديثة العقد أثناء ارتفاع درجة الحرارة. وتتوفر أدلة على أن هذا التحسن فى كفاءة انتقال الغذاء المجهز فى الصنف سالاديت مرده إلى زيادة سرعة تحلل السكروز المتوفر بأوراقه إلى فركتوز وجلوكوز، حيث ارتبط معدل انتقال المواد الكربوهيدراتية بقوة بنسبة السكروز: الفركتوز والجلوكوز. كذلك نقص محتوى الأوراق من النشا – فى هذا الصنف – بسرعة كبيرة فى الحرارة العالية مقارنة بالصنف روما؛ مما يدل على أن الغذاء المجهز ينتقل – فى الصنف سالاديت – بمعدلات عالية من أماكن تصنيعه إلى حيث تحتاج إليه الأزهار والثمار الحديثة العقد خلال فترات ارتفاع درجات الحرارة.

ويرتبط بهذا الأمر – كذلك – ما وجد من بطء تكوّن الكالوس فى الأنابيب الغربالية للصنف سالاديت – خلال فترات ارتفاع الحرارة – مقارنة بما يحدث فى الصنف روما الحساس للحرارة.

التباين فى استجابة إنزيم Nitrate Reductase للحرارة العالية

أوضحت دراسة أجريت على ثلاث سلالات من الذرة مرباة تربية داخلية وحساسة للحرارة العالية ، وثلاث أخرى أكثر تحملاً للحرارة وجود اختلافات بينها فى نشاط كل من إنزيمى Nitrate Reductase، وNitrite Reductase، حيث لم يثبط نشاط إنزيم الـ Nitrate Reductase فى السلالات المتحملة للحرارة، وفى إحدى السلالات الحساسة – لدى تعريضها لحرارة ٤٠–٤٥ ْم – مقارنة بالسلالتين الحساستين الأخريين (عن Stevens ١٩٨١).

تمثيل بروتينات الصدمة الحرارية

يذكر Hernandez & Vierling (١٩٩٣) أن تعريض النباتات لصدمة الحرارة العالية يؤدى إلى تكوين بروتينات ذات وزن جزيئى منخفض فى السيتوبلازم. حدث ذلك فى جميع النباتات التى درست؛ وهى: البسلة، وفول الصويا، واللوبيا، وفاصوليا تبارى *Phaselous acutifolius*، والبرسيم الحجازى؛ عندما عرضت بذورها أو أوراقها لدرجة حرارة ٤٠ ْم لمدة ٤ ساعات، بينما لم يمكن عزل هذه المركبات البروتينية فى الأوراق التى لم تعرض لمعاملة الحرارة العالية.

وتجدر الإشارة إلى أن البروتينات التى تتكون نتيجة التعرض لصدمة الحرارة العالية – والتى تعرف باسم Heat Shock Proteins – اكتشفت أولاً فى حشرة الدروسوفيلا ميلانوجستر، ثم فى النباتات. ويعرف منها ثلاث مجموعات مختلفة؛ كما يلى:

الأولى (Group I): تتراوح بين ٦٨ و١٠٤ kDa وتوجد فى البكتيريا، والحيوانات، والنباتات.

الثانية (Group II): تتراوح بين ٢٠ و٣٣ kDa.

الثالثة (Group III): تتراوح بين ١٥ و١٨ kDa، ولا توجد إلا فى النباتات الراقية.

تنتج هذه البروتينات لدى تعريض النباتات لحرارة تقترب من ٤٠ ْم. وفى الذرة يبدأ إنتاج هذه البروتينات بعد ٢٠ دقيقة فقط من معاملة الحرارة، مع إنتاج مجموعة أخرى منها (تتراوح بين ٥٢ و ٦٢ kDa) بعد ٤ ساعات من التعرض للحرارة. ويتوقف إنتاج تلك البروتينات — بشدة — بعد ذلك حتى مع استمرار تعرض النباتات للحرارة العالية (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

إن الاستجابة للصدمة الحرارية هى تفاعل يسببه تعرض نسيج من كائن حى أو خلايا لشدٍّ مفاجئ، ويعَبَّر عنه بتعبير عابر فى بروتينات الصدمة الحرارية (HSPs). ويعد التركيب الأولى لهذا البروتين ثابتًا فى كائنات متباينة من البكتيريا ووحيدات الخلية حتى النباتات والحيوانات. ولذا.. يُعتقد بعلاقتها الوثيقة بحماية الكائنات الحية من الشدِّ الحرارى.

ويعتمد حث إنتاج الـ HSPs على الحرارة التى ينمو عليها الكائن الحىّ بصورة طبيعية. وفى النباتات الراقية تستحث الـ HSPs — بصورة عامة — بالتعرض لحرارة ٣٨–٤٠ ْم لمدة قصيرة. وتتواجد الـ HSPs بأحجام جزيئية متباينة، وجميعها تتميز بارتباطها ببروتينات غير ثابتة التركيب البنائى. وتلعب تلك البروتينات أدوارًا فسيولوجية هامة كموجهات chaperons جزيئية. وبالإضافة لوظائفها فى طىّ البروتينات بعد التعبير عنها مباشرة، وتحويل البروتينات إلى تراكيب مناسبة للانتقال عبر الأغشية البروتوبلازمية، فإنها تمنع تكتل البروتينات المدنترة، وتحفز إعادة جزيئات البروتينات المتكتلة إلى طبيعتها. ولهذه الوظائف للـ HSPs علاقة وثيقة بالمقاومة للحرارة وأنواع أخرى متباينة من حالات الشدِّ البيئى.

تقسم الـ HSPs إلى خمس فئات على أساس اختلافها فى الوزن الجزيئى، وهى HSP 100، وHSP 90، وHSP 70، وHSP 60، و الـ HSPs ذات الوزن الجزيئى

الصغير sm HSP، وهى تتواجد فى كل من السيتوبلازم وعضيات الخلية مثل النواة، والميتوكوندريات، والبلاستيدات الخضراء، والشبكة الإندوبلازمية.

وتعد الـ HSPs ذات الوزن الجزيئى المنخفض (١٥-٣٠ كيلو دالتون kDa) أكثرها تنوعًا. فمثلاً.. يعمل الـ HSP 18.1 فى البسلة (وهو سيتوبلازمى من class 1 sm HSP) على منع تكتل البروتينات التى تكون مدنترة بفعل الحرارة، وإعادة تنشيطها.

ويتميز الـ HSP 70 بثبات تركيبه الأولى عبر عديد من أنواع الكائنات الحية، وهو يعمل كموجه جزيئى؛ فيعطل تفاعل جزيئات البروتينات فيها وفيما بينها؛ فهو — مثلاً — يُسّهل انتقالها عبر الغشاء البلاوتوبلازمى، ويربطها بالشبكة الإندوبلازمية، ويمنع تكتل البروتينات المدنترة. وجميع هذه الوظائف تعتمد على الـ ATP. ويعتقد كذلك أن للـ HSP 100، و HSP 90 وظائف مماثلة كموجهات جزيئية، ولكن لا توجد دلائل قوية على ارتباطها بالشدّ الحرارى فى النباتات.

ولقد أمكن التعرف فى الجزر على جين يشفر لتمثيل بروتين الصدمة الحرارية HSP 17.7، الذى يلعب دورًا هامًّا فى قدرة خلايا ونباتات الجزر على تحمل الشدّ الحرارى (عن Malik ١٩٩٩).

وتتجمع البروتينات — كذلك — عند تعرض النباتات لبعض حالات الشد الأخرى؛ مثل التعرض للمعادن الثقيلة، والأشعة فوق البنفسجية، والجفاف.

وربما تفيد البروتينات — التى تتكون عند التعرض للمعادن الثقيلة — كمركبات مخلبية لتلك العناصر؛ الأمر الذى يفقدها تأثيرها السام. وقد تفيد البروتينات التى تتكون عند التعرض للأشعة فوق البنفسجية فى تمثيل الصبغات الفلافونية التى تمتص تلك الأشعة الضارة. وقد تشارك البروتينات التى تتكون عند التعرض لظروف الجفاف فى تمثيل بعض المركبات النيتروجينية — مثل البرولين، والبولى أمينات polyamines، والبيتين betaine — التى تتكون فى النباتات التى تتعرض لظروف الجفاف.

وبصورة عامة.. فإن مجموعة من المركبات النيتروجينية تتراكم فى النباتات التى تتعرض لظروف بيئية قاسية – جوية كانت، أم أرضية – ومن أكثر هذه المركبات شيوعًا ما يلى:

١- الأميدات amides: الجلوتامين glutamine، والأسبرجين aspargine.

٢- الأحماض الأمينية: أرجنين، وبرولين، وسترولين، وأورنثين.

٣- الأمين amine بوترسين putrescine.

ويتوقف نوع المركب النيتروجينى المتراكم على كل من النوع النباتى، وطبيعة حالة الشِّدة البيئية.

وقد اقترح Rabe (١٩٩٠) نظرية افتراضية مؤداها أن أية حالة تعرضٍ لظروف بيئية قاسية – يحدث بسببها استنفاد الجلوكوز من النبات، أو نقص فى معدل نموه، أو كلاهما – يؤدى إلى تراكم النيتروجين النشادرى NH_3^- والأمونيومى NH_4^+– فى النبات – مبكرًا – خلال فترة تعرض النبات للشدّ البيئى. ويؤدى تخلُّص النبات من الأمونيا الحرة الزائدة فى الخلايا إلى تراكم مركبات تحتوى على النيتروجين فيها؛ مثل المركبات التى تقدم بيانها.

أهمية ثبات الأغشية البروتوبلازمية

يُستدل من عدة دراسات على وجود علاقة بين ثبات الأغشية البروتوبلازمية فى الحرارة العالية – كما يستدل عليها من قياسات التسرب الأيونى من الأقراص الورقية – وبين القدرة على تحمل الحرارة العالية. ثبت ذلك فى عديد من المحاصيل، منها – على سبيل المثال – القمح، والذرة الرفيعة، والطماطم، وفول الصويا، والفاصوليا، والبطاطس (عن Hall ١٩٩٢).

ويرتبط ثبات الأغشية البرتوبلازمية بمدى سيولتها. ويتحدد مدى سيولة تلك الأغشية (membrane fluidity) بكل من التركيب الدهنى للغشاء، ودرجة تشبع دهون الغشاء،

ودرجة الحرارة. وتعد التغيرات التى تحدثها الحرارة فى سيولة الأغشية أحد النواتج الفورية لحالات الشدّ الحرارى، وقد تشكل موقعًا لتلقى تأثيرات الشدّ. ويستدل على أهمية سيولة الأغشية البلازمية فى تحمل الشدّ الحرارى من عدد من الدراسات. فمثلاً.. وجدت فى فول الصويا طفرة تتسبب فى نقص فى عدم تشبع الأحماض الدهنية، وكانت متحملة بقوة لشدّ الحرارة العالية. أما فى شدّ البرودة فيبدو أن الزيادة فى درجة عدم تشبع الأحماض الدهنية تعد عاملاً حاسمًا لقيام الأغشية بوظيفتها بكفاءة تحت تلك الظروف (Sung وآخرون ٢٠٠٣).

أهمية كالسيوم العصير الخلوى

يزداد تركيز الكالسيوم الموجود فى العصارة الخلوية cytosolic Ca^{2+} بحدة لدى حدوث انخفاض أو ارتفاع حاد فى درجة الحرارة، إلاّ أن ديناميكية التغيرات فى تركيز الكالسيوم بالعصارة يختلف فى حالة التعرض للحرارة العالية عنها فى حالة التعرض للبرودة، فنجد أن تركيز الكالسيوم العصارى يرتفع فى خلال دقائق من التعرض لصدمة البرودة، بينما يبدأ فى الزيادة خلال مرحلة العودة إلى الوضع العادى بعد التعرض لصدمة حرارية.

يبدو – كذلك – أن تركيز كالسيوم العصارة الخلوية يرتبط باكتساب خاصية التحمل للشدّ الحرارى، فالمعاملة الحرارية المعتدلة التى تستثير تطوير التحمل الحرارى المكتسب تمنع الارتفاع فى كالسيوم العصير الخلوى بعد التعرض للشدّ الحرارى، كذلك فإن تحضين النباتات فى حرارة منخفضة – يمكن أن تحفز تطوير تحمل برودة مكتسب – يحفز الارتفاع الثانى فى تركيز كالسيوم العصير الخلوى الثنائى الارتفاع (bi-modal) الذى يواكب صدمات البرودة (Sung وآخرون ٢٠٠٣).

وسائل حماية بعض محاصيل الخضر من أضرار الحرارة العالية

الطماطم

التطعيم

وجد أن صنف الطماطم الحساس للحرارة العالية UC82-B المطعوم على أى من صنف الطماطم المتحمل Summerset أو صنف الباذنجان Black Beauty كان أكثر تحملاً للحرارة العالية (٢٧/٣٧ °م نهار/ليل)، مقارنة بنباتات نفس الصنف غير المطعومة. وفى حالة التطعيم على الباذنجان كانت النباتات أعلى جوهريًّا فى كل من قيم فلورة الكلوروفيل فى مراحل الإثمار المتأخرة، والمساحة الورقية، والوزن الطازج والجاف للأوراق، وعدد حبوب اللقاح بالزهرة، وأقل جوهريًّا فى قيم التسرب الأيونى، وذلك عما فى النباتات غير المطعومة على حرارة ٢٧/٣٧ °م (Abdelmageed & Gruda ٢٠١٣).

المعاملة بالبرولين لأجل تحسين العقد

يزداد محتوى البرولين فى المتوك أثناء نمو البراعم الزهرية حتى تفتح الأزهار، ويحتوى المتاع على تركيزات من البرولين أقل مما فى المتوك، كما لا يتراكم البرولين فى المتاع أثناء نموه حتى وقت تفتح الأزهار. وتُخفِّض الحرارة العالية محتوى البرولين فى المتوك أيا كانت مرحلة تكوينها، كما تقلل أيضًا من محتوى البرولين فى مبايض البراعم الزهرية. وعلى الرغم من انخفاض محتوى البرولين فى الأوراق عما فى المتوك والأمتعة، فإن الحرارة العالية تؤدى إلى زيادة مستواه فى الأوراق. وتؤدى إضافة البرولين إلى بيئة إنبات حبوب اللقاح إلى تحسين معدل إنباتها وجعلها أكثر تحملاً للحرارة العالية (Kuo وآخرون ١٩٨٦).

الخيار

- وجد أن معاملة الخيار بفوق أكسيد الأيدروجين H_2O_2 تؤدى إلى زيادة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة فى الأوراق، وتقلل من أكسدة الدهون؛ مما يؤدى إلى حماية

الكلوروبلاستيدات من التلف فى ظروف الحرارة العالية (Gao وآخرون ٢٠١٠).

- وأدى رش نباتات الخيار بالأسبرميدين spermidine بتركيز مللى مول واحد إلى زيادة قدرتها على تحمل أضرار الأكسدة التى تنشأ عن تعريض البادرات للحرارة العالية (٣٢/٤٢ °م نهار/ليل) بخفض المعاملة لنشاط كلا من الـ superoxide dismutase، والـ ascorbate peroxidase، مع انخفاض نشاط الـ catalase ابتداءً ثم زيادته، وزيادة نشاط الـ peroxidase ابتداءً ثم انخفاضه (Tian وآخرون ٢٠١٢).

- كما أدى رى بادرات الخيار لمدة يومين بمحلول هوجلند المغذى المحتوى على p-hydroxybenzoic acid بتركيز ٠,٥ مللى مول إلى تحفيز نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة فى ظروف شد حرارى مقداره ٤٢/ ٣٨°م (نهار/ليل)؛ وبذا.. فإن المعاملة قللت من أكسدة الدهون بدرجة ما، وحفزت من تحمل البادرات للشد الحرارى (Zhang وآخرون ٢٠١٢).

الفراولة

أحدث تعريض نباتات الفراولة لشدٍّ حرارى تدريجى (من ٣٠ إلى ٣٥ إلى ٤٠ إلى ٤٥°م كل يومين) زيادة جوهرية فى تحملها للحرارة العالية مقارنة بالنباتات التى تعرضت لصدمة حرارية فجائية، وقد يرتبط ذلك بتمثيل عديد من بروتينات الصدمة الحرارية فى النباتات التى تعرضت للشدّ الحرارى التدريجى (Gulen & Eris ٢٠٠٣).



الفصل الرابع

شد الجفاف (شد نقص الرطوبة الأرضية)

التغيرات الفسيولوجية المصاحبة للتغيرات فى الرطوبة الأرضية

نوجز فيما يلى الحالة الفسيولوجية التى تكون عليها النباتات فى المستويات المختلفة من الرطوبة الأرضية:

أولاً: عندما تكون الرطوبة الأرضية مناسبة

عندما تكون الرطوبة الأرضية فى المجال المناسب يتساوى معدل النتح مع معدل امتصاص الماء من التربة (فى الواقع أن معدل النتح يكون أعلى قليلاً من معدل امتصاص الماء، ابتداء من الثامنة صباحًا، حتى الخامسة بعد الظهر، وأقل قليلاً من معدل امتصاص الماء من الخامسة بعد الظهر حتى الثامنة صباحًا)، ويتبع ذلك ما يلى:

١- تكون الخلايا منتفخة Turgid.

٢- تكون الثغور مفتوحة.

٣- ينفذ ثانى أكسيد الكربون بسرعة إلى الأوراق.

٤- يكون معدل التمثيل الضوئى عاليًا.

٥- يكون معدل التنفس عاديًّا.

٦- يتوفر كثير من المواد الكربوهيدراتية للنمو.

ثانيًا: عندما تكون الرطوبة الأرضية أقل من اللازم

يقل حينئذ امتصاص الماء، ويتبع ذلك ما يلى:

١- يقل انتفاخ الخلايا الحارسة.

٢- تقل مساحة الثغور.

٣- يقل معدل تمثيل الغذاء؛ وإن كان ذلك أمرًا مشكوكًا فيه.

٤- يقل النمو والمحصول، وتعيش النباتات على الغذاء المخزن.

٥- تقل المقاومة لأضرار البرودة فى حالة النباتات التى تبقى خلال فصل الشتاء.

ثالثا: عندما توجد زيادة فى الرطوبة الأرضية

عندما تزيد الرطوبة الأرضية عن اللازم يكون معدل امتصاص الماء أكثر من معدل النتح، ويتبع ذلك:

١- زيادة فى حجم الخلايا، وزيادة طول النبات، وتكون البادرات طويلة ورهيفة leggy.

٢- ظهور تشققات النمو growth cracks، كما فى الطماطم والبطاطا.

حالات الذبول الفسيولوجى

قد يكون الذبول لأسباب مرضية، أو لأسباب فسيولوجية، فالذبول المرضى يحدث نتيجة لإصابة جذور النباتات أو حزمها الوعائية بالمسببات المرضية التى تعوق عملية امتصاص الجذور للماء، أو انتقاله فى أوعية الخشب إلى باقى أجزاء النبات، أما الذبول الفسيولوجى، فإنه يحدث فى الحالات الآتية:

أولاً: الذبول المؤقت فى درجات الحرارة المرتفعة

يحدث وقت الظهيرة، وينشأ عن زيادة النتح عن معدل امتصاص الماء من التربة، بالرغم من توفر الماء بالتربة، لكن ظهوره يزداد مع زيادة نقص الرطوبة الأرضية. وتعود النباتات إلى حالتها الطبيعية قرب المساء.

ثانيًا: الذبول الناشئ عن زيادة ملوحة التربة

يحدث نتيجة لزيادة الضغط الأسموزى للمحلول الأرضى، كما يظهر أحيانًا عند زيادة التسميد بالقرب من النباتات؛ حيث يتحرك الماء فى الاتجاه العكسى؛ أى من الجذور إلى المحلول الأرضى. ويحدث هذا النوع من الذبول، بالرغم من توفر الرطوبة فى التربة.

ثالثًا: الذبول الناشئ عن سوء التهوية ورداءة الصرف

يحدث فى الأراضى الرديئة الصرف، وعند زيادة الرطوبة الأرضية؛ حيث تختنق الجذور، ولا يمكنها امتصاص الماء اللازم للنبات.

رابعًا: الذبول الناشئ عن نقص الرطوبة الأرضية

يحدث عند وصول الرطوبة الأرضية إلى نقطة الذبول الدائم، ويعقبه موت النباتات؛ نتيجة جفاف بروتوبلازم الخلايا.

خامسًا: الذبول الناشئ عن انخفاض درجة حرارة التربة

يحدث ذلك عند انخفاض درجة حرارة التربة – بالرغم من توفر الرطوبة بها – خاصة وسط النهار عندما تكون الشمس ساطعة؛ حيث يزداد النتح عن مقدرة النبات على امتصاص الرطوبة.

خاصية الشدّ الرطوبى

تعريف الجهد المائى

يتعرض الماء الموجود فى الأوعية الموصلة للماء فى النبات لشدّ (ضغط سلبى) فى أى وقت يزيد فيه معدل فقد الماء بالنتح عن معدل امتصاصه عن طريق الجذور؛ مما يعنى انخفاض جهد الماء Water Potential، وازدياد التنافس بين مختلف الأنسجة والأعضاء النباتية عليه.

يأخذ الجهد المائى Water Potential فى النبات الرمز (Ψ_w)، وهو يقدر بالمعادلة التالية:

$$\Psi_w = \Psi_p + \Psi\pi + \Psi_m$$

علمًا بأن:

Ψ_p = Turgor Potential أو جهد امتلاء الخلايا.

$\Psi\pi$ = Osmatic Potential أو الجهد الأسموزى.

Ψ_m = Matric Potential.

ينشأ الجهد الأسموزى عن طريق الأجسام الذائبة، سواء أكانت جزيئات، أم أيونات. وينشأ الـ matric Potential نتيجة لالتصاق الماء بالأسطح؛ حيث تكون جزيئات الماء أكثر انتظامًا وترتيبًا؛ معطية جزءًا من طاقتها الحركية. ومع توقف نشاط جزيئات الماء فإن طاقتها الحركية تنطلق كطاقة حرارية.

وينشأ جهد امتلاء الخلايا نتيجة لتعرض أسطح الأغشية الخلوية والجدر الخلوية التى تحتفظ بالماء فى نظام مغلق – مثل الفجوات العصارية – للقذف بجزيئات الماء. ويكون جهد الامتلاء – عادة موجبًا، ويُواجَه بالأغشية الخلوية أو الجدر الخلوية، أو بالضغط الهيدروستاتيكى الذى ينشأ بسبب تأثير الجاذبية على أعمدة الماء فى نسيج الخشب.

ويعد الحفاظ على خاصية امتلاء الخلايا بالماء turger ضروريًّا للنمو، وإذا انخفض الامتلاء فإن أعراض الذبول قد تظهر على النباتات. ويعد جهد الامتلاء أول مكونات جهد الماء التى تتأثر بنقص الرطوبة الأرضية.

ومع فقدان الماء من التربة بالصرف، أو بالتبخر السطحى، أو بامتصاص الجذور له، فإن استمرارية وجود الماء السائل – المتحرك فى التربة – تقل تدريجيًّا إلى أن تتوقف؛ فيبقى بعض الماء على سطح حبيبات التربة، ويتحول بعضه الآخر إلى بخار ماء

ينتشر فى الفراغات التى توجد بين حبيبات التربة. ومع زيادة فقد الماء من التربة يصبح المتبقى منه أكثر التصاقًا على سطح حبيبات التربة. ويمكن القول إن جهد الماء water potential يقل تدريجيًّا إلى أن يصل إلى نقطة لا تتمكن عندها الجذور من امتصاص الماء لتعويض ما يفقد منه بالنتح، أو يستنفذ فى العمليات الحيوية الأخرى. وحينئذٍ قد يذبل النبات ولا يعود إلى حالته الطبيعية حتى لو أُوقف النتح بوضع النبات فى رطوبة نسبية عالية. وفى حالات كهذه يكون النبات قد ذبل بصورة دائمة، وتكون الرطوبة الأرضية عند نقطة الذبول الدائم Permanent Wilting.

يتراوح الجهد المائى فى التربة عند نقطة الذبول الدائم بين —١,٠ و ٢,٠ ميجاباسكال megapascls (الميجاباسكال وحدة قياس للضغط تأخذ الرمز MPa وتعادل ١٠ ضغط جوى). وعمومًا فإن الجهد المائى فى التربة يتراوح أثناء النمو النباتى من —٠,٠٣ ميجاباسكال ونقطة الذبول الدائم (-١,٥ ميجاباسكال).

كيفية وصول الماء الأرضى إلى الجذور تحت ظروف الشد الرطوبى

يصبح الماء ملامسًا لجذور النباتات بإحدى طريقتين؛ هما: إما بانتقال الماء إلى الجذور، وإما بنمو الجذور فى التربة الرطبة. يكون تحرك الماء فى التربة سهلاً عند نقطة التشبع الرطوبى تبعًا لقانون دارسى Darcy's Law ؛ كما يلى:

$$V = K \frac{\text{Change in total } \Psi_w \text{ in soil in cm } H_2O}{\text{Change in depth or distance}}$$

حيث إن:

V = سرعة حركة الماء (التدفق) عند التشبع الرطوبى.

K = معامل التوصيل الهيدروليكى Coefficient of Hydraulic Conductivity.

البسط = التغير فى الجهد المائى الكلى فى التربة بالسنتيمتر من الماء.

المقام = التغير فى العمق أو المسافة.

ومع نقص جهد الماء إلى ١,٥ ميجاباسكال فإن قيمة K تنخفض بسرعة إلى ٠,١٪ من قيمتها فى التربة المشبعة بالماء.

ويؤدى انخفاض محتوى التربة من الرطوبة إلى تقطع (عدم استمرارية) الغشاء المائى، ويتوقف التدفق المائى. وحينئذٍ يزداد إسهام الـ materic potential فى الجهد المائى، مقارنة بإسهام الجهد الأسموزى. وتحت هذه الظروف يصبح تحرك بخار الماء أمرًا هامًّا. وقد يتحرك الماء على سطح حبيبة التربة، وقد يتبخر فى المسافات المحصورة بين حبيبات التربة، وقد يتكثف على سطح حبيبة أخرى، ويتحرك إلى مسافات طويلة بتكرار هذه العملية. وتساعد التدرجات فى حرارة التربة فى هذا الشأن؛ حيث تعمل على حركة بخار الماء إلى أعلى شتاء وإلى أسفل صيفًا.

إن الأسطح التى تتملاس فيها الجذور مع حبيبات التربة تعد منطقة ديناميكية. ويعرف جزء التربة الذى يقع بالقرب من الجذور النامية ويتأثر بها باسم "الرايزوسفير Rhizosphere". ويعتبر الرايزوسفير نظامًا بيئيًّا ديناميكيًا تزداد فيه أعداد الكائنات الدقيقة كثيرًا عما فى بقية التربة. وتقع فيه جميع العمليات الحيوية للجذور التى يترتب عليها إفراز المركبات الكيميائية، والأيونات، وثانى أكسيد الكربون، بالإضافة إلى عمليات امتصاص الماء والعناصر.

تفرز جذور بعض النباتات — وخاصة النجيليات — مادة صمغية هلامية عند القلنسوة المحيطة بالقمة النامية للجذر. وتتكون تلك المادة من معقد من عديدات التسكر التى تتكاثر عليها البكتيريا؛ مما يؤدى إلى تحلل القلنسوة الجذرية؛ ليتكون غيرها... وهكذا. ويؤدى ناتج تحلل تلك المادة إلى التصاق حبيبات التربة ببعضها ومع القمة الجذرية النامية؛ الأمر الذى يفيد فى توثيق الاتصال بين الجذور وسطح حبيبات التربة (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

مستويات الشدّ الرطوبى

يمكن تقسيم درجات الشدّ الرطوبى كما يلى:

١- شدّ بسيط mild stress:

يكون مصاحبًا بانخفاض فى الجهد المائى Ψ_w للأوراق بمقدار ٠,١ ميجاباسكال، ونقص فى المحتوى النسبى للماء Relative Water Content يتراوح بين ٨٪ و١٠٪.

٢- شدّ معتدل Moderate Stress:

يكون مصاحبًا بانخفاض فى الجهد المائى للأوراق إلى -١,٢ حتى -١,٥ ميجاباسكال، ونقص فى المحتوى النسبى للماء أكثر من ١٠٪ ولكن أقل من ٢٠٪.

٣- شدّ شديد Severe Stress:

يكون مصاحبًا بانخفاض فى الجهد المائى للأوراق إلى أكثر من -١,٥ ميجاباسكال، ونقص فى المحتوى النسبى للماء أكثر من ٢٠٪.

وعندما تحدث حالة الشد الرطوبى يبدأ التنافس بين الأعضاء والأنسجة النباتية على الماء المُتاح؛ حيث تتميز الأعضاء والأنسجة التالية بقدرة تنافسية عالية:

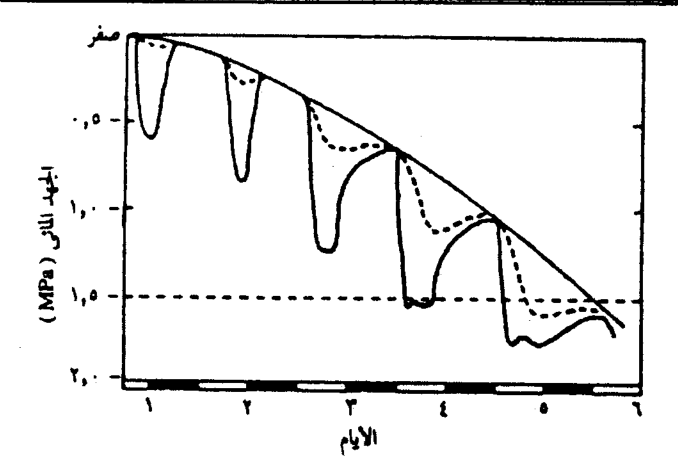
١- الأنسجة الميرستيمية بفعل ما تقوم بتمثيله من مركبات خلوية، وخاصة البروتين.

٢- الفجوات العصارية بفعل ما يتركز فيها من أملاح وسكريات.

٣- الأوراق بفعل ما تقوم بتصنيعه من غذاء.

٤- الأعضاء التى تتحول فيها المركبات العضوية غير الذائبة إلى مركبات ذائبة.

يزداد الشدّ الرطوبى مع ازدياد النقص فى الرطوبة الأرضية كما أسلفنا. ويبين شكل (٤-١) تطور الشد الرطوبى فى نبات نامٍ فى تربة مشبعة بالماء ثم تعرضت للجفاف التدريجى لمدة عدة أيام. نلاحظ فى الشكل وجود دورات يومية للتغيرات فى الجهد الرطوبى فى كل من الأوراق — التى تنتح أثناء النهار — والجذور، بالإضافة إلى نقص مستمر فى الجهد الرطوبى فى التربة.



شكل (٤-١): التغيرات فى الجهد المائى فى كل من الأوراق (الخط السفلى المتصل)، والجذور (الخط المتقطع)، والتربة (الخط العلوى المتصل) المرتبطة بنقص الماء الميسر فى التربة. يصل النبات إلى نقطة الذبول الدائم فى اليوم الخامس. يراجع المتن للتفاصيل.

تنشأ التغيرات اليومية فى الجهد المائى بالنبات بسبب تأخر امتصاص الجذور للماء مقارنة بنتحه من الأوراق. وعند نقطة الذبول الدائم نجد أن الجهد المائى بالأوراق يكون أقل من الجهد المائى فى التربة؛ حيث لا يمكن للماء أن يتحرك إلى الجذور بالسرعة الكافية للتغلب على نقص الرطوبة فى النبات، حتى لو كانت الثغور مغلقة.

وتحدث الدورة اليومية للشد الرطوبى نتيجة للدورة اليومية للنتح. فعند انغلاق الثغور ليلاً يستمر امتصاص الماء من التربة. وفى بداية مرحلة الجفاف نجد أن نقص الماء فى النبات — نتيجة للنتح نهارًا — يتم تعويضه فى بداية فترة الظلام، ولكن — مع تقدم حالة الجفاف — يصبح الماء الأرضى أقل تيسرًا، ويكون تعويض النقص فى الماء فى النبات أبطأ بصورة متزايدة إلى أن نصل إلى نقطة الذبول الدائم، وهى التى لا يمكن عندها تعويض هذا النقص (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

العوامل المؤثرة فى تأقلم النباتات على ظروف الشد الرطوبى

يتأثر مدى تأقلم النباتات على ظروف الشد الرطوبى بالعوامل التالية:

١- سرعة تطور حالة الشد الرطوبى:

حيث يسمح نقص فى الجهد المائى (قدره -٠,١ إلى -٠,٥ ميجاباسكال يوميًا) بحدوث التأقلم، بينما يكون الشدّ المائى أسرع من أن يحدث معه التأقلم إذا تراوح النقص فى الجهد المائى بين - ١,٠ و- ١,٢ ميجاباسكال يوميًا.

٢- درجة الشدّ:

حيث يمكن الإبقاء على حالة الامتلاء الكامل full turger فى المراحل المبكرة من التعرض للشدّ الرطوبى، ولكن تلك القدرة تقل مع استمرار حالة الشد.

٣- العوامل البيئية:

يكون للعوامل المؤثرة على سرعة الجفاف - مثل الحرارة وشدة الإضاءة - دور مباشر، بينما يكون للعوامل المؤثرة على معدل البناء الضوئى دور غير مباشر.

٤- الاختلافات الوراثية بين الأصناف والأنواع النباتية.

٥- عمر النبات.

ومن مظاهر التأقلم النباتى على الشدّ الرطوبى نقص المساحة الورقية؛ الذى يؤدى إلى نقص فقد الماء من النبات.

كما يؤدى الشد الرطوبى إلى الإسراع بموت الأوراق المسنة وموتها مبكرًا؛ الأمر الذى يقلل أكثر من فقد النبات للماء، علمًا بان تلك الأوراق لا تُسهم كثيرًا فى إمداد الثمار، أو البذور، أو الأعضاء النباتية الأخرى بالغذاء المجهز.

كذلك تتغير مع الشد الرطوبى زاوية ميل الورقة وشدة عكسها للضوء، وتزداد حالة التفاف الأوراق، وخاصة فى النجيليات، علمًا بأن هذا الالتفاف قد يؤدى إلى نقص النتح بنحو ٧٠٪ ونقص المساحة الورقية المعرضة لضوء الشمس المباشر بنحو ٦٨٪.

التأثيرات الفسيولوجية للشدّ الرطوبى

تُعد الغالبية العظمى من النباتات وسطًا فى تحملها لنقص الرطوبة الأرضية (وهى التى تعرف باسم mesophytes)، ومنها معظم المحاصيل الزراعية، وهى تستجيب لنقص الرطوبة الأرضية بغلق ثغورها للحد من فقد الماء عن طريق النتح. وقد تكون استجابة الثغور هذه سريعة للغاية تبعًا للنوع النباتى؛ فهى قد تُغلق فى خلال دقائق من التعرض للشدّ المائى، وذلك قبل أن تفقد خلايا الورقة امتلاءها. ويترافق غلق الثغور — عادة — بتثبيط للبناء الضوئى، وتوقف للنمو، على الرغم من أن النمو الجذرى قد يستمر، أو قد حتى يُحفّز. ويؤدى نقص الرطوبة كذلك إلى تراكم أو تمثيل مركبات ذات وزن جزيئى منخفض (وهى التى تعرف باسم osmolytes)، وكذلك تمثيل بروتينات جديدة يُعتقد بأنها تقوم بحماية الأغشية والأسطح الـ macromolecular، وتعمل بقوة على منع تراكم المواد المؤكسدة والشوارد الحرة free radicals.

وعندما تزول حالة الشدّ بتوفر الرطوبة فإن الثغور تُفتح من جديد، ويعاود النبات البناء الضوئى والنمو، ويتوقف إنتاج الـ osmolytes والبروتينات الحامية. ويمكن لكثير من النباتات — مثل الحبوب الصغيرة — البقاء لفترات طويلة فى ظروف الجفاف على هذه الحالة شبه المجففة، إلا أن الجفاف المستمر قد يكون قاتلاً لأنواع نباتية كثيرة.

وتشترك النباتات الـ mesophytes فى عديد من الاستجابات التى أوضحناها مع استجابة النباتات التى تعيش فى الصحراء وفى المستنقعات الملحية، وكذلك مع ما يُعرف بالـ resurrection plants، وهى تلك التى يمكن أن تفقد حتى ٩٧٪ - ٩٨٪ من رطوبتها، وتبدو ميتة تمامًا، وتبقى على هذا الوضع إلى أن تتغير الظروف وتتوفر الرطوبة؛ فتستعيد رطوبتها، وتعاود مظاهر الحياة من جديد (Srivastava ٢٠٠٨).

الدور الذى يلعبه حامض الأبسيسك فى شدّ الجفاف

يُعرف حامض الأبسيسك بأنه "هرمون شدّ" stress hormone؛ حيث يزيد تركيزه استجابة للشدّ البيئى، بما فى ذلك شد الجفاف. يمكن للجذور أن تحس بنقص الماء،

حيث تبدأ فى تمثيل حامض الأبسيسك فى خلال ساعة واحدة من بداية الشدِّ المائى. ينتقل حامض الأبسيسك فى نسيج الخشب من الجذور إلى الأوراق فى خلال دقائق إلى ساعات. ينخفض تركيز حامض الأبسيسك فى الخشب بشدة وتفتح الثغور فى أقل من يوم بعد رى النباتات التى تعرضت للشدِّ. ويلعب حامض الأبسيسك دورًا رئيسيًّا فى تجنب الشدِّ المائى بغلقه للثغور، ووقفه لنمو الأوراق وتحفيزه للنمو الجذرى (Singh ١٩٩٣).

يؤدى تعرض النباتات للجفاف إلى إحداث زيادة سريعة فى مستوى حامض الأبسيسك الطبيعى بزيادة فى معدل تمثيله؛ الأمر الذى يحدث بفعل جميع العوامل التى ينتج عنها جفاف فى الخلايا مثل الجفاف، والملوحة، والبرودة. هذا.. ويكون تراكم حامض الأبسيسك مرحليًّا؛ حيث يؤدى توفر الرطوبة للنباتات الذابلة إلى حدوث انخفاض سريع فى محتواها من حامض الأبسيسك. كذلك فإن استمرار حالة الذبول لمدد طويلة (٨-٢٤ ساعة أو أكثر) يصاحبه انخفاض فى مستويات حامض الأبسيسك، ويكون مرد ذلك إلى توقف تمثيله وزيادة تحوله إلى مركبات أيضية أخرى مثل الـ phaseic acid والـ dihydrophaseic acid. ويستدل من مرحلية الزيادة فى مستويات حامض الأبسيسك أنه يعمل كإشارة لبدء حدوث استجابات معينة. وبعض هذه الاستجابات تكون سريعة، مثل انغلاق الثغور، بينما تستغرق استجابات أخرى وقتًا أطول وتتضمن تعبيرًا جينيًّا. وبعد حدوث تلك الاستجابات لا يكون لاستمرار وجود حامض الأبسيسك ضرورة.

لقد أكدت دراسات عديدة أجريت على نباتات عشبية وخشبية أنه كنتيجة لجفاف التربة فإن محتوى الجذور من حامض الأبسيسك يرتفع، وأن ذلك الارتفاع يرتبط بزيادة فى محتوى عصير الخشب من الحامض. فبينما يبلغ تركيز حامض الأبسيسك فى النباتات العشبية مثل الذرة ودوار الشمس حوالى ١٠ نانومول، فإن ذلك التركيز يمكن أن يرتفع لأكثر من مائة ضعف مع الجفاف المعتدل للتربة، وهو جفاف لا يؤثر جوهريًّا على الجهد المائى للأوراق.

ولقد وجد أن انغلاق فتحات الثغور يرتبط مباشرة مع تركيز حامض الأبسيسك فى

عصير الخشب، وليس مع الجهد المائى للأوراق أو مع تركيز حامض الأبسيسك فيها. ويبدو أن للجهد المائى للجذور وتركيز حامض الأبسيسك فى عصير الخشب بها علاقة مباشرة بسلوك الثغور.

وأيًّا كان مصدر حامض الأبسيسك (من الجذور وانتقل خلال الخشب أو مُصنَّع فى النسيج الوسطى للأوراق) فإنه يتراكم فى الجدر الخلوية المحيطة بخلايا بشرة الورقة، ومع إحساس الخلايا الحارسة بحامض الأبسيسك فإن الثغور تنغلق.

ومع وصول حامض الأبسيسك إلى الجدر الخلوية فإن الثغور تغلق، ولكى تُفتح من جديد عند توفر الرطوبة الأرضية فإنه من الضرورى أن تُستهلك الزيادة فى حامض الأبسيسك بالجدر الخلوية سريعًا. وما يحدث هو أن توفر الرطوبة يُنشِّط مضخات البروتونات proton pumps؛ فيحدث انخفاض فى pH الجدر الخلوية؛ الأمر الذى يُناسب انتقال حامض الأبسيسك من الجدر الخلوية إلى السيتوبلازم، حيث يدخل فى العمليات الأيضية (Srivastava ٢٠٠٨).

تأثير الشد الرطوبى على عملية البناء الضوئى

تعتبر كمية الماء التى يحتاج إليها النبات فى عملية البناء الضوئى قليلة جدًا إذا ما قورنت بما يحتاج إليه النبات لاستمرار نموه ونشاطه البيولوجى. وعلى ذلك.. فإن عملية البناء الضوئى لا تتوقف عند نقص الرطوبة الأرضية بسبب التأثير المباشر لنقص الرطوبة، وإنما يكون مرد ذلك إلى تأثيرات غير مباشرة؛ منها حالة الجفاف hydration التى تحدث للبروتوبلازم وإغلاق الثغور، فيؤدى جفاف البروتوبلازم إلى التأثير على تركيبه الغروى، ومن ثم تتأثر كل العمليات الحيوية التى تجرى فيه، وخاصة النشاط الإنزيمى.

أما بالنسبة لإغلاق الثغور عند ذبول الأوراق وتأثير ذلك على معدل البناء الضوئى، فإن هذه النظرية قد واجهتها تحديات كثيرة؛ حيث وجد أن معدل البناء الضوئى يظل — فى بعض الحالات — مرتفعًا، وبمعدله الطبيعى، حتى تبدأ الأوراق فى الذبول، كما لم يتأثر

معدل نفاذية غاز ثانى أكسيد الكربون خلال الثغور فى أوراق الذرة الذابلة بدرجة ملحوظة (عن Devlin ١٩٧٥).

هذا.. إلا أن نقص الرطوبة الأرضية أدى فى الطماطم إلى نقص كفاءة عملية البناء الضوئى؛ وذلك بسبب التأثير السلبى لنقص الرطوبة الأرضية على قدرة كل من الثغور (stomatal conductance)، وخلايا الميزوفيل (Mesophyll Conductance) على التوصيل، ونقص الجهد الرطوبى فى النبات (Xu وآخرون ١٩٩٤).

ومن المعروف أن زيادة الجهد الرطوبى فى النبات تؤدى إلى زيادة تمثيل حامض الأبسيسيك Abscisic Acid، وهو هرمون ذو تأثير على الجهد الأسموزى للخلايا الحارسة من خلال تأثيره على نفاذية الأغشية؛ الأمر الذى يؤدى إلى انغلاق الثغور. كما أن حامض الأبسيسك يحفز إنتاج الإيثيلين فى أوراق وثمار عديد من النباتات، ويثبط إنتاجه فى أنواع نباتية أخرى.

وقد وجد Basiouny وآخرون (١٩٩٤) أن كلاً من الشد الرطوبى (الجفاف) والتشبع الرطوبى (الغدق) أدى إلى زيادة تركيز حامض الأبسيسيك والإيثيلين فى نباتات الطماطم.

هذا.. ويكون فتح وغلق الثغور – عادة – جزئيًا – ويُستخدم مصطلح توصيل الثغور stomatal conductance للدلالة على درجة انفتاح الثغور؛ فكلما زاد انفتاحها، كلما ازداد توصيلها لبخار الماء وثانى أكسيد الكربون من خلالها. وتقاس درجة توصيل الثغور conductance ومقاومتها resistance بالـ porometer (Srivastava ٢٠٠٨).

تأثر الهرمونات النباتية بظروف الشد الرطوبى، وتأثير ذلك على النمو النباتى

يؤثر الشدّ الرطوبى على التوازن الهرمونى؛ الذى يؤثر بدوره على تطور النمو النباتى. وبينما تتأثر جميع الهرمونات النباتية بالشدّ الرطوبى.. فإن أكثرها تأثرًا حامض الأبسيسيك، والسيتوكينينات، والإيثيلين، التى تتحكم فى التوازن المائى، بينما يتأثر إندول حامض الخليك والجبريللينات بدرجة أقل.

١- إندول حامض الخليك

ينخفض تركيز إندول حامض الخليك وانتقاله فى النباتات التى تتعرض لظروف الشدّ الرطوبى، وربما يرجع ذلك إلى الزيادة فى تركيز إنزيم IAA oxidase التى تحدث فى ظروف الشدّ الرطوبى.

٢- الجبريللينات

ينخفض تركيز الجبريللينات فى النباتات التى تتعرض لأى من ظروف الجفاف أو الغدق.

٣- الإيثيلين

يؤدى الشدّ الرطوبى إلى زيادة تمثيل الإيثيلين فى النبات؛ بسبب زيادة تمثيل مركب ACC الذى يُصنَّع منه الإيثيلين.. وجد ذلك فى عديد من النباتات؛ منها: القطن، والقمح، والبرتقال، والفول الرومى.

ونظرًا لأن معاملة النباتات بحامض الأبسيسك تؤدى إلى زيادة تمثيل الإيثيلين؛ لذا.. يعتقد أن زيادة الأخير ترجع إلى زيادة تركيز حامض الأبسيسك تحت ظروف الشد الرطوبى.

٤- السيتوكينينات

تُصنَّع السيتوكينينات فى الجذور، وينخفض تمثيلها فى ظروف الشد الرطوبى، ولذلك أثره فى الإسراع بشيخوخة الأوراق وموتها فى حالات الشد الرطوبى.

٥- حامض الأبسيسك

يؤدى الشد الرطوبى إلى زيادة تركيز حامض الأبسيسك كما أسلفنا. وقد وجد ذلك فى عديد من النباتات؛ منها: الأفوكادو، وعباد الشمس، والفاصوليا، والداتورة، والقمح. ويلعب الحامض دورًا هامًا فى التحكم فى فتح الثغور وانغلاقها؛ حيث يمكن أن يؤدى إلى

انغلاقها أو منع انفتاحها. ويظهر ذلك التأثير جليًا فى طفرة الطماطم flacca التى لا يتراكم فيها حامض الأبسيسك عند تعرض النباتات للشد الرطوبى. وفيها تبقى الثغور مفتوحة برغم التعرض للشد الرطوبى، وتذبل النباتات عند تعرضها للضوء. ولا تغلق الثغور فى هذه الطفرة إلا عند معاملة الأوراق بحامض الأبسيسك.

كما وجد أن طفرة البسلة "الذابلة" التى ينقصها حامض الأبسيسك تكون بطيئة النمو، وأقل وزنًا وأقل ارتفاعًا، وأسرع ذبولاً تحت ظروف الجفاف، وذات محتوى رطوبى أقل من نباتات البسلة العادية، وقد ارتبطت هذه الأعراض بتغيرات غير طبيعية فى العلاقات المائية بالنبات (عن Bruijn وآخرين ١٩٩٣).

هذا.. وتلعب ثلاثة هرمونات نباتية دورًا هاما فى النبات أثناء تعرضه للشد الرطوبى. فنجد أن الشد الرطوبى يُحدث زيادة مبدئية فى تركيز الإيثيلين، تتبعها زيادة كبيرة فى تركيز حامض الأبسيسك، ونقص فى تركيز السيتوكينينات. وتمنع الزيادة فى تركيز حامض الأبسيسك أية زيادة إضافية فى تركيز الإيثيلين، بينما نجد أن السيتوكينين — الذى يمكن أن يحفز تمثيل الإيثيلين — ينخفض تركيزه؛ الأمر الذى يزيد من حدة النقص فى تركيز الإيثيلين.

ويعد أحد أدوار حامض الأبسيسك التأثير على نفاذية الأغشية الخلوية للخلايا الحارسة؛ حيث تؤدى زيادة تركيزه — فى ظروف الشد الرطوبى — إلى إغلاق الثغور جزئيا أو كليا.

وقد يؤدى استمرار الشد الرطوبى لفترة طويلة إلى سقوط الأوراق. وفى حالات كهذه.. قد يكون تمثيل الإيثيلين هو أهم العمليات الحيوية؛ حيث تؤدى زيادة تركيزه إلى نقص انتقال الأوكسين من نصل الورقة إلى طبقة الانفصال فى عنق الورقة. ويؤدى سقوط الأوراق إلى نقص المساحة الورقية؛ الأمر الذى يجعل النبات أكثر قدرة على إعادة أقلمة نفسه على ظروف الشد الرطوبى (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

ولمزيد من الاطلاع عن فسيولوجيا الشدّ الرطوبى فى النباتات.. يُراجع كل من Turner & Kramer (١٩٨٠)، و American Society for Horticultural Science (١٩٨١).

التأثير الفسيولوجى لنقص الرطوبة الأرضية على بعض محاصيل الخضر

الطماطم

• يؤدى تعريض نباتات الطماطم لشدٍّ رطوبى (نقص فى الرطوبة الأرضية) إلى نقص فى معدل النتح، وزيادة فى حرارة النمو الخضرى، مع غلق للثغور. هذا علمًا بان توصيل الأوراق لغاز ثانى أكسيد الكربون يبلغ أقصاه فى الأوراق القمية للنبات، ويقل — تدريجيًّا — فى الأوراق التى تليها إلى أسفل (Romero-Aranda & Longuenesse ١٩٩٥).

• كذلك يؤدى تعرض النباتات لظروف الشدِّ الرطوبى إلى إنتاجها لحامض الأبسيسك، وهو هرمون طبيعى يؤثر مباشرة على الجهد الأسموزى للخلايا الحارسة؛ مما يؤدى إلى إغلاق الثغور. كذلك يُنشِّط حامض الأبسيسك إنتاج الإيثيلين فى الأوراق والثمار فى عديد من الأنواع النباتية. وقد وُجِدَ فى الطماطم أن كلاً من الشدِّ الرطوبى وظروف الغدق (تشبع التربة بالرطوبة) أحدثنا زيادة فى تركيز كل من حامض الأبسيسك والإيثيلين فى النباتات (Fouda وآخرون ١٩٩٤).

وقد وجد Shinohara وآخرون (١٩٩٥) أن تعريض نباتات الطماطم النامية فى مزارع الحصى إلى شدٍّ رطوبى أدى إلى نقص المحصول وزيادة نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية فى الثمار، مقارنة بنباتات الكنترول. كذلك انخفض معدل البناء الضوئى ومعدل النتح بشدة بعد تعرض النباتات لمعاملة الشد الرطوبى مباشرة، ولكن المعدلات عادت إلى طبيعتها — تدريجيًّا — بعد ذلك بالرغم من استمرار معاملة الشد الرطوبى. وأدى الشد الرطوبى إلى زيادة معدل انتقال الغذاء المجهز إلى الثمار.

• وعندما عرضت نباتات الطماطم لنقص فى الرطوبة الأرضية بخفض الجهد المائى فى وسط الزراعة من -٠,٥ إلى -١,٢ ميجاباسكال نقص النمو الخضرى للنباتات وقلّ

محصولها، وازدادت نسبة الثمار التى أصيبت بتعفن الطرف الزهرى، ولكن ذلك كان مصاحبًا بتحسن واضح فى نوعية الثمار، حيث كانت أفضل لونًا، وازداد تركيز المواد الصلبة الذائبة الكلية فيها، وكان محتواها من السكروز، والجلوكوز، والفراكتوز أعلى من ثمار النباتات التى لم تتعرض لمعاملة الشدِّ الرطوبى. وقد كانت ثمار النباتات التى تعرضت لمعاملة الشدِّ الرطوبى أكثر إنتاجًا لكل من ثانى أكسيد الكربون والإيثيلين (Pulupol وآخرون ١٩٩٦).

- ولقد أدى تعريض نباتات الطماطم النامية فى مزرعة مائية لشدٍّ رطوبى — أُحدِث بإضافة البولى إيثيلين جليكول للمحلول المغذى — إلى إحداث زيادة فى محتوى كل من الأوراق والجذور من كل من الاسبرمين spermine، والاسبيرميدين spermidine (وهما من متعددات الأمين)، وهى زيادة حفزت تراكمًا فى كل من حامض الأبسيسك وحامض الجاسمونك، مع زيادة فى نشاط إنزيم البولى أمين أوكسيديز polyamine oxidase (اختصارًا: PAO) فى الجذور والأوراق. ولقد وجد ارتباط جوهرى بين محتوى كل من الاسبرمين والاسبرميدين من جهة ونشاط إنزيم الـ PAO من جهة أخرى، وذلك فى الجذور والأوراق. كما حدثت الزيادة فى تركيز حامض الأبسيسك فى الجذور قبل الأوراق (Zhang & Huang ٢٠١٣).

- وأدى الشدِّ المائى للطماطم الشيرى إلى إحداث زيادة فى الحموضة المعايرة حتى وصلت إلى ٦٨,٧٪ فى أحد الأصناف، وكذلك إحداث زيادة فى المادة الجافة والمواد الصلبة الذائبة الكلية (تراوحت الزيادات من ٢٤,٠٨٪ إلى ٩١,٦٨٪، ومن ٥,٩٣٪ إلى ٤٠,٩٠٪، على التوالى). (Barbagallo وآخرون ٢٠٠٨).

الخيار

وجد أن تعريض بادرات الخيار — وهى فى مرحلة نمو الورقة الحقيقية السادسة إلى السابعة — لشدٍّ رطوبى أحدث انخفاضًا مبكرًا فى توصيل الثغور، تبعه انخفاض تدريجى

فى البناء الضوئى بلغ ذروته بعد ٧–٨ أيام من التعرض للشدّ الرطوبى، وذلك مقارنة بما حدث فى نباتات الكنترول. وبعد يومين من توفير الرطوبة الأرضية عادت الأمور – تدريجيًا – إلى ما كانت عليه قبل التعرض للشدّ (Zhang وآخرون ٢٠١٣).

البسلة

يؤدى تعرض البسلة لظروف الجفاف إلى نقص معدل النمو النسبى relative growth rate (Makela وآخرون ١٩٩٧)، ومعدل إنتاج الأوراق rate of leaf production، ومعدل نمو الأوراق فى المساحة leaf expansion rate وإلى حدوث ارتفاع طفيف فى درجة حرارة الأوراق بسبب انغلاق الثغور ونقص معدل النتح، ولكن ذلك كله لا يحدث إلا فى حالات الجفاف الشديد، وإلى حين الوصول إلى تلك الدرجة من الجفاف فإن معدل إنتاج الأوراق يعتمد أساسًا على درجة حرارة الهواء (Lecoeur & Guilioni ١٩٩٨).

كذلك يؤدى التعرض لظروف الجفاف إلى انخفاض أيض الكربون والنيتروجين فى العقد الجذرية، فينخفض بشدة نشاط إنزيم sucrose synthase، كما يقل نشاط بعض الإنزيمات التى تشارك فى تمثيل النيتروجين فى العقد الجذرية، مثل: glutamine synthase، وaspartate aminotransferase (González وآخرون ١٩٩٨).

الفاصوليا

التأثير على النمو، والمحصول، وتكوين العقد الجذرية

يفضل رى حقول الفاصوليا كلما انخفضت الرطوبة الأرضية فى منطقة نمو الجذور إلى ٧٥٪ من الرطوبة عند السعة الحقلية. ويؤدى انخفاض محتوى التربة الرطوبى عن ذلك إلى نقص النمو النباتى والمحصول، ويزداد الضرر فى الأصناف المتسلقة عنها فى الأصناف القصيرة. كذلك يقل تكوين بكتيريا الرايزوبيم الجذرية ويقل نشاطها بزيادة الانخفاض فى الرطوبة الأرضية (Sangakkara ١٩٩٤). وقد حصل Costa وآخرون (١٩٩٧) على نتائج مماثلة لتلك حيث أدى تعريضهم النباتات لشدّ رطوبى إلى نقص الوزن الجاف لكل من

النباتات والعقد الجذرية، ونقص معدل النمو النباتى النسبى، وكذلك إلى انخفاض نشاط إنزيم النيتروجينيز nitrogenese. وبينما أدت إزالة حالة الشدّ الرطوبى إلى استعادة النباتات لنموها العادى، فإنها لم تستعد بصورة كاملة الوزن الجاف للعقد الجذرية — مقارنة بنباتات الكنترول — كما لم يعد نشاط إنزيم النيتروجينيز إلى سابق عهده.

التأثير على عقد القرون والبذور

كانت نباتات الفاصوليا أكثر حساسية لنقص الرطوبة الأرضية أثناء مراحل نمو البراعم، والإزهار، وعقد القرون، بدرجة أكبر منها أثناء مراحل نمو القرون وامتلاء البذور. وقد كان عدد القرون النهائى أقل بنسبة ٥٣٪ فى النباتات التى تعرضت للشدّ الرطوبى أثناء مرحلة نمو البراعم مقارنة بنباتات الكنترول. أما عدد البذور فى القرن فلم يتأثر بالقدر ذاته حيث كان الانخفاض فى عددها ١٣٪ فقط فى حالة الشدّ الرطوبى مقارنة بالكنترول (Mouhouche وآخرون ١٩٩٨).

اللوبيا

تعد اللوبيا من محاصيل الخضر القادرة على تحمل الجفاف، وهى تتفوق فى تلك الخاصية على النوع *V. radiata* (Sangakkara ١٩٩٣). ويؤدى تعرض النباتات لظروف الجفاف إلى نقص المساحة الورقية، وانغلاق الثغور، وتغيرات فى توجه الأوراق leaf orientation، وهى جميعها عوامل تؤدى إلى زيادة قدرة النباتات على تحمل الجفاف واحتفاظها بجهدها المائى water potential، مع عدم تعرضها لنقص حاد فى المحصول (Fery ١٩٩٠).

وعلى الرغم من ذلك فإن الجفاف يؤثر سلبيًا على تراكم المادة الجافة فى الأجزاء الهوائية للنبات (من خلال خفضه لكل من: كفاءة استقبال الضوء الساقط، وكفاءة الاستفادة من الإشعاع) وعلى محصول البذور الذى ينخفض بمقدار حوالى ٥٠٪. وقد كان الارتباط بين محصول البذور وتراكم المادة الجافة عاليًا (r = ٠,٩٦) ومعنويًا فيما بين الإزهار ونضج البذور

Craufurd & Wheeler) ١٩٩٩).

كما يؤثر جفاف التربة سلبيًّا على نشاط بكتيريا العقد الجذرية فى تثبيت آزوت الهواء الجوى. وقد أوضح Figueiredo وآخرون (١٩٩٨) وجود اختلافات بين سلالات البكتيريا *Bradyrhizobium* spp. فى مدى كفاءتها فى المعيشة التعاونية مع جذور اللوبيا تحت ظروف الجفاف؛ حيث كانت السلالة EI 6 أكثر كفاءة وجعلت نباتات اللوبيا أكثر قدرة على تحمل الجفاف عن السلالة BR 2001.

البصل

وجد أن حساسية البصل لزيادة عدد القمم النامية بالبصلة (multiple centers) تزداد بتعريض النباتات لشدٍّ رطوبى خلال أى من مراحل النمو من الورقة الحقيقية الرابعة إلى نهاية تكوين الورقة الحقيقية السادسة (Shock وآخرون ٢٠٠٧).

الأسبرجس

أدى تعريض نباتات الأسبرجس من صنف Jersey Giant لنقص فى الرطوبة الأرضية إلى خفض أعداد البراعم الكلية والبراعم المكتملة التكوين خطيًّا مع ازدياد الشدِّ الرطوبى. وعلى الرغم من تباين أقطار البراعم فى العنقود الواحد، فإن ازدياد الشدِّ الرطوبى أدى — كذلك — إلى نقص قطر البراعم. هذا.. ولم يكن للشدِّ الرطوبى تأثيرات سلبية على النمو النباتى فى العام التالى إذا ما أعطيت النباتات حاجتها من الرطوبة. ويعد توفر رطوبة أرضية عند السعة الحقلية ضروريًّا لإنتاج أعلى محصول من المهاميز ذات الحجم المثالى المطلوب (Drost & Willcox-Lee ١٩٩٧ أ، و١٩٩٧ ب).

كذلك أدى تعريض نباتات الأسبرجس من صف Huchels Leistungsauslese لظروف الجفاف إلى خفض محتوى تيجان النباتات من كل من الفروكتانات والكربوهيدرات الذائبة فى الماء. ويعد انخفاض تركيز الكربوهيدرات الذائبة فى الماء دليلاً على ضعف التيجان، كما أنه أحد أسباب ضعف قدرة البراعم على التنبيت بعدما تحصل النباتات على

حاجتها من الرطوبة الأرضية (Ernst & Krug ١٩٩٨).

تعريف تحمل الجفاف فى النباتات

يختلف التعريف البيولوجى والإيكولوجى (أو البيئى) لتحمل النباتات للجفاف عن التعرف الزراعى أو المحصولى؛ فالتعريف البيولوجى لا يتطلب أكثر من بقاء النبات حيًّا وإنتاجه لأى عدد من البذور عقب تعرضه لنقص حاد فى الرطوبة الأرضية (عن Myers وآخرين ١٩٨٦). ويتحقق ذلك – غالبًا – من خلال حدوث نقص فى المساحة الورقية، وخفض فى النشاط الأيضى، وغير ذلك من الظواهر التى توصف مجتمعة باسم Cryptobiosis. وترتبط تلك الظواهر – عادة – بنقص فى المحصول؛ ولذا.. فإن فائدتها محدودة للمربى (عن Quisenberry ١٩٧٩).

وبالمقارنة.. فإن التعريف الزراعى أو المحصولى لتحمل الجفاف يتطلب أن يكون النمو النباتى كافيًا لإنتاج محصول اقتصادى.

ويميل بعض العلماء إلى استعمال مصطلح مقاومة الجفاف Drought Resistance ليعنى به حالتى: تجنب الجفاف Drought Avoidance، وتحمل الجفاف Drought Tolerane. ويعنى بتجنب الجفاف قدرة النباتات على إكمال دورة حياتها فى فترة زمنية قصيرة عندما تكون الرطوبة الأرضية متوفرة، كما فى عديد من النباتات الصحراوية.

هذا.. ويختلف شد تحمل الجفاف عن شد تحمل فقد الماء – كله أو معظمه – مع بقاء الكائن حيًّا، كما فى البكتيريا والفطريات وبعض الأعضاء النباتية مثل البذور وحبوب اللقاح، وهو ما يعرف باسم desiccation tolerance، والذى يمكن الإطلاع على تفاصيله فى Leprince & Buiting (٢٠١٠).

ويرجع تحمل النباتات للجفاف إما إلى قدرتها على تأخير فقد الرطوبة من أنسجتها (Desiccation)، وإما إلى تحملها الفقد الرطوبى عند حدوثه. ويحدث تأخير الفقد الرطوبى إما بخفض النبات لمعدل النتح، وإما بزيادة معدل امتصاصه للماء. أما تحمل النبات

للجفاف فيحدث من خلال التنظيم الأسموزى لخلايا النبات بالقدر الذى يسمح باستمرار امتلائها (cell turger)، وتوسعها (cell expansion)، ونموها (عن Parsons ١٩٧٩، وHasegawa وآخرين ١٩٨٤).

معادلات تقدير المحصول تحت ظروف الجفاف

نظرًا لأهمية الفقد الرطوبى، ومعدل البناء الضوئى – تحت ظروف الجفاف – فى تحمل النباتات للجفاف.. فإن تلك القيم تدخل فى معادلات حساب المحصول البيولوجى والمحصول الاقتصادى، كما يلى:

$$W = mT/E_0$$

حيث إن:

W = المحصول البيولوجى.

m = ثابت خاص بالنبات.

T = النتح الخاص بالمحصول Crop Transpiration.

E_0 = التبخر السطحى والنتح المكنان للمحصول Potential Evapotranspiration.

ويمكن استبدال القيمة T بالقيمة E_a، وهى التبخر السطحى والنتح الفعليان للمحصول.

أما المحصول الاقتصادى فيقدر بالمعادلة التالية:

$$EY = E_a \times WUE \times HI$$

حيث إن:

EY = المحصول الاقتصادى.

WUE = كفاءة استعمال الماء Water Use Efficiency (كمية الماء المفقودة مقابل كل وحدة وزن من المادة العضوية المصنعة).

HI = دليل الحصاد (عن Blum ١٩٨٩).

علمًا بأن دليل الحصاد هو المحصول الاقتصادى كنسبة مئوية من الوزن الجاف الكلى للنبات، ويقدّر بالمعادلة التالية:

$$HI = \frac{EY}{W} \times 100$$

آليات تحمل الجفاف

يعرف تحمل الجفاف بأنه قدرة النباتات على البقاء والنمو وإنتاج محصول كافٍ فى وجود محدود للماء فى التربة، أو فى ظروف جفاف متكرر على فترات. وتندرج الآليات التى تتحمل بها النباتات الجفاف تحت ثلاث خصائص، هى: الإفلات من الجفاف drought escape وتجنب الجفاف أو الفقد الرطوبى من الأنسجة drought aviodance، وتحمل الجفاف drought tolerance (أو dehydration tolerance). ويمكن أن تعتمد النباتات على أكثر من آلية فى الوقت الواحد فى تعاملها مع ظروف الجفاف.

الإفلات من الجفاف

إن الإفلات من الجفاف هو قدرة النبات على إكمال دورة حياته قبل أن يواجه بنقص خطير فى الرطوبة الأرضية. وتتضمن تلك الآلية تطورات فينولوجية phenological developments (مثل الإزهار والنضج المبكرين)، والمطاوعة (أو اللدانة) التطورية developmental plasticity (مثل التباين فى المدة التى يستغرقها النمو حسب مدى شدة التعرض للجفاف)، وإعادة تحريك الغذاء المجهز قبل تفتح الأزهار.

إن بعض أصناف اللوبيا — على سبيل المثال — تكمل نموها مبكرًا فى خلال ٦٠–٧٠ يومًا من الزراعة، ويكون ذلك كافيًا — فى كثير من مناطق زراعة اللوبيا بأفريقيا — قبل حلول أى شدٍّ جفافى قد يأتى فى نهاية الموسم. وعادة تكون الأصناف المبكرة أقل فى كل من دليل مساحة الورقة، والنتح التبخرى، والمحصول؛ وبذا.. فإنها لا تكون هى الأنسب للزراعة فى المناطق التى تتباين فيها الرطوبة أو تكون الرطوبة فيها مناسبة.

تجنب الفقد الرطوبى من الأنسجة النباتية (أى تجنب جفافها)

إن تجنب الفقد الرطوبى من الأنسجة النباتية dehydration avoidance هو قدرة النبات على الاحتفاظ بمستوى عالٍ نسبيًّا من الرطوبة (أى احتفاظه بجهد مائى عالٍ نسبيًّا) فى ظروف نقص الرطوبة الأرضية؛ مما يؤدى إلى حماية مختلف العمليات الفسيولوجية فى النبات من التأثر السلبى بحالة الجفاف. ويعبر عن الوضع المائى للأنسجة النباتية بجهدها المائى water or turger potential فى ظروف الشدّ الجفافى. ويتحقق احتفاظ النبات بجهده المائى إما من خلال خفض النبات لمعدل النتح، وإما من خلال زيادة قدرته على امتصاص الماء من التربة. وبينما تتميز النباتات البرية بإحدى الصفتين، فإن النباتات المنزرعة قد تجمع بينهما، وربما حدث ذلك من خلال عمليات الانتخاب التى قام بها الإنسان.

هذا.. وقد يحدث الخفض فى النتح من خلال واحدة أو أكثر من عدة آليات، مثل انغلاق الثغور خلال فترات التعرض للجفاف، والتنظيم الأسموزى osmotic adjustment (الذى يعد أحد أهم آليات تجنب الفقد الرطوبى)، وزيادة سمك طبقة الشمع الأديمى، وتمثيل حامض الأبسيسك الذى يعمل على غلق الثغور خلال فترات الشدّ، وزغبية الأوراق leaf pubescence، وزاوية الأوراق مع الساق وحركتها، والتفاف الأوراق leaf rolling.

أما زيادة امتصاص النبات للماء فيحدث من خلال زيادة تعمق الجذور، وزيادة كثافتها.

تحمل الفقد الرطوبى من الأنسجة النباتية (أو تحمل الجفاف)

يُعنى بتحمل الفقد الرطوبى من الأنسجة dehydeation tolerance (أو تحمل الجفاف drought tolerance) لتركيب وراثى معين أن ما يحدث فيه من تغيرات فسيولوجية جراء الفقد الرطوبى يكون أقل مما يحدث فى تركيب وراثى آخر لا يتحمل هذا الفقد.

ومن أهم مظاهر تحمل الفقد الرطوبى، ما يلى:

١- التعديل الأسموزى بزيادة تراكم المواد العضوية الذائبة فى الخلايا.

٢-المحافظة على سلامة الأغشية البلازمية، وزيادة مقاومة البروتوبلازم للفقد المائى.

٣-زيادة مرونة الخلايا وصغر حجمها.

٤-النمو تحت ظروف الشدِّ، متمثلاً فى إنبات البذور، وبقاء البادرات ونموها، واستمرار النمو النباتى.

هذا.. إلا أن جميع هذه الآليات لا تخلو من مردودات سلبية على المحصول الممكن. فمثلاً.. نجد أن التراكيب الوراثية الشديدة التبكير تكون أقل محصولاً من نظيراتها العادية. كما أن آليات غلق الثغور وصغر حجم الأوراق (لأجل خفض الفقد المائى) يتبعها انخفاض فى معدل البناء الضوئى — بسبب هذين العاملين — فضلاً عما يحدثه ذلك من ارتفاع فى حرارة الأوراق؛ مما يكون له من آثار سلبية على العمليات الحيوية. كذلك فإن كثرة تراكم المركبات العضوية الذائبة المتوافقة قد يصبح سامًّا، ويقود إلى ما يعرف بالحالة الزجاجية glassy state، وهى التى تصاحبها زيادة كبيرة فى لزوجة السوائل المتبقية فى الخلايا؛ الأمر الذى قد يؤدى إلى دنترة البروتينات وتلف الأغشية البلازمية (عن Singh ١٩٩٣، وAgbicodo وآخرين ٢٠٠٩).

طبيعة تحمل الجفاف فى النباتات

يتعين — كما أسلفنا — التمييز بين حالتى تجنب الجفاف وتحمله. فبالنسبة لتجنب الجفاف Drought Avoidance.. نجد أنه يحدث إما من خلال الإفلات منه Drough Escape، وإما من خلال "خصائص النباتات الصحراوية" Xerophytic Characteristics التى اكتسبتها أثناء تطورها فى بيئتها الصحراوية.

ويحدث الإفلات من ظروف الجفاف بأن تنبت بذور النبات عقب المطر الغزير، ثم تكمل النباتات نموها الخضرى — الذى يكون غالبًا محدودًا جدًّا — وتزهر وتثمر فى فترة لا تتجاوز ٤-٦ أسابيع؛ وبذا.. تستفيد النباتات من الرطوبة المحدودة الموجودة فى التربة، وتكمل دورة حياتها قبل أن تتعرض لظروف الجفاف، ويشاهد ذلك كثيرًا فى المناطق

الصحراوية. كذلك يمكن أن يحدث الإفلات من الجفاف فى بعض أصناف المحاصيل الزراعية التى تنضج وتعطى محصولها الاقتصادى مبكرًا قبل حلول موسم الجفاف (عن Clarke & Townley-Smith ١٩٨٤) ويعيب النباتات التى تتجنب ظروف نقص الرطوبة الأرضية وتفلت منها تمامًا أنها لا تتحمل ظروف نقص الرطوبة الأرضية إذا تعرضت لها (عن Stevens ١٩٨١).

ومن الخصائص الأخرى الهامة للنباتات الصحراوية — التى تمكنها من تجنب الجفاف — تكوين طبقة سميكة من الشمع على مختلف الأسطح النباتية تمكنها من خفض معدل النتح إلى أدنى مستوى ممكن، وقلة عدد الثغور بالأوراق، وكبر الفجوات العصارية مع تراكم المركبات العضوية الذائبة فى السيتوبلازم، وتشعب المجموع الجذرى (عن Quisenberry ١٩٧٩). وجميع هذه الصفات مكتسبة فى النباتات الصحراوية ومثبتة Fixed فيها؛ بمعنى أنه لا تتوفر — فى النوع الواحد منها — تباينات فى تلك الصفات.

وبالمقارنة بالنباتات الصحراوية.. فإن النباتات العادية هى التى تتوفر فى بعض أنواعها تباينات فى الصفات التى تجعل بعض سلالاتها أو أصنافها أكثر — أو أقل — تحملاً لظروف الجفاف من غيرها. ويستفاد من هذه التباينات فى تربية أصناف تجارية أكثر تحملاً لظروف الجفاف، وفى دراسة وراثة تلك الصفات. ويفضل دائمًا أن تجمع النباتات المرباة (بهدف زراعتها فى المناطق التى تتعرض لنقص فى الرطوبة الأرضية) بين صفتى القدرة على تجنب ظروف الجفاف، وتحمل تلك الظروف فى آن واحد.

أهمية كل من الـ WUE والـ EUW فى تحمل الجفاف

يعتقد Blum (٢٠٠٩) أن خاصية كفاءة استخدام المياه water use efficiency (اختصارًا: WUE) — التى يُعتقد بأنها من أهم الصفات التى يعول عليها فى استمرار إنتاج محصول مقبول تحت ظروف الشدّ، وخاصة شدّ الجفاف — تؤدى إذا اتُخذت كأساس للانتخاب فى ظروف نقص الرطوبة الأرضية إلى نقص المحصول ونقص تحمل ظروف

الجفاف. فطالما أن كيمياء البناء الضوئى لا يمكن تحسينها وراثيًا، فإن الزيادة الوراثية لكفاءة النتح وكفاءة استخدام المياه يتحكم فيهما أساسًا الصفات النباتية التى تحد من النتح وعمليات استعمال المحصول للماء، التى تعد حاسمة بالنسبة للإنتاج النباتى. ونظرًا لأن إنتاج الكتلة الحيوية يرتبط بشدة بالنتح، فإن التربية لزيادة القدرة على اقتناص الماء من التربة من أجل النتح يجب أن يكون هو الهدف الأهم لأجل تحسين المحصول تحت ظروف شدّ الجفاف. ويعنى بالاستعمال الفعال للمياه effective use of water (اختصارًا: EUW) أقصى اقتناص للماء لأجل النتح؛ بما يعنى — كذلك — خفض النتح غير الثغرى، والحد من فقد الماء من التربة بالبخر السطحى. وحتى التعديل الأسموزى — الذى يعد أحد الصفات الهامة لتأقلم النباتات على ظروف الشدّ — فإنه يعد محفزًا لكفاءة اقتناص الماء الأرضى والنتح. ويعبر دليل الحصاد harvest index العالى عن نجاح الإنتاج النباتى والمحصول فيما يتعلق بالتكاثر وتوجيه الغذاء المجهز نحو أعضاء التكاثر. وفى معظم البيئات التى تعتمد على الأمطار فى الزراعة يتطور نقص المحاصيل للمياه خلال مرحلة التكاثر؛ مما يقلل دليل الحصاد. ويفيد الاستعمال الفعال للمياه — الذى يُحسن من الوضع المائى للنبات — فى استدامة توجيه الغذاء نحو أعضاء التكاثر. ولذا.. فإن الباحث (Blum ٢٠٠٩) يؤكد على أن الاستعمال الفعال للمياه EUW — وليست كفاءة استخدام المياه WUE — يجب أن يكون هو الهدف الرئيسى لتحسين المحصول فى ظروف محدودية المياه.

ويمكن للنباتات أن تحد من فقد الماء (الذى هو أحد مظاهر الـ EUW) بأى من المظاهر التالية:

١– زيادة طبقة الشمع على أديم البشرة (كما فى أصناف السورجم المتحملة للجفاف)، بما يؤدى إلى خفض النتح الأديمى الذى لا يستفيد منه النبات قدر استفادته من النتح الثغرى الذى تبقى معه الثغور مفتوحة، ويستمر — تبعًا لذلك — تبادل الغازات وتثبيت ثانى أكسيد الكربون. ويلاحظ أن بقاء الثغور مفتوحة ليلاً يزداد معه فقد الماء بالنتح دون أن يستفيد النبات من ذلك.

٢- سرعة جفاف وموت الأوراق تفيد فى تقليل معاناة النبات من نقص الرطوبة، علمًا بأن ذلك الأمر يبدأ بالأوراق السفلى (الأقل إسهامًا فى البناء الضوئى) ثم يتجه تدريجيًا نحو الأوراق العليا الأكثر نشاطًا.

٣- التعديل الأسموزى، وهو الذى يفيد فى المحافظة على امتلاء الخلايا حتى مع نقص محتوى الرطوبة بالأوراق بما يُبقى على الثغور مفتوحة فى ظروف الشد الرطوبى، كما أنه يزيد من قدرة الجذور على امتصاص الماء (Blum ٢٠٠٩).

ومن أهم الخصائص التى تؤثر فى قدرة النبات على تحمل نقص الرطوبة الأرضية فى المحاصيل الزراعية ما يلى:

قدرة البذور على الإنبات فى ظروف نقص الرطوبة الأرضية

يُعتقد بأن قدرة البذور على الإنبات فى ظروف الجفاف (نسبة الإنبات وسرعته) ترتبط بمدى قدرة النباتات الأكبر على تحمل تلك الظروف. وبالفعل.. وجدت اختلافات بين أصناف وسلالات القمح والذرة فى نسبة وسرعة إنبات بذورها تحت ظروف الجفاف.

النمو الجذرى الكثيف المتعمق

تستطيع النباتات ذات النمو الجذرى الكبير المتعمق والكثير التفريع فى التربة أن تمتص الماء من أعماق كبيرة من التربة؛ الأمر الذى يؤخر احتمالات جفاف أنسجتها، بينما تفيد الجذور السطحية الكثيفة فى الاستفادة من زخات المطر الخفيفة.

صغر الزاوية التى تصنعها الورقة مع الساق

تتميز بعض النباتات بقدرتها على تحريك أوراقها بحيث تبقى دائمًا موازية لأشعة الشمس؛ الأمر الذى يقلل بشدة من الطاقة الإشعاعية التى تكتسبها الأوراق، والتى تؤدى — فى حالة اكتسابها — إلى فقدان الرطوبة من الأوراق؛ وبذا.. فإن حركة الأوراق هذه تعد إحدى وسائل تحمل النباتات للجفاف، وهى تعرف فى بعض أصناف الفاصوليا تحت

ظروف الجفاف، وفى فاصوليا تبارى التى تعد من الأنواع التى تتحمل الجفاف.

زيادة سمك أديم الورقة وزيادة كثافة شعيراتها

يعمل الأديم الشمعى (الذى يترسب فيه الشمع) السميك على سطح الأوراق على زيادة تحمل النباتات للجفاف؛ لأنه يخفض النتح الأديمى، كما يفيد فى زيادة انعكاس الأشعة الشمسية من على سطح الأوراق. وقد تأيدت علاقة الأديم السميك بنقص النتح وزيادة المحصول — تحت ظروف نقص الرطوبة الأرضية — فى السورجم.

وتزيد طبقة الشمع الأديمى — طبيعيًّا — فى النباتات المعرضة للشمس عما فى النباتات التى تنمو فى الظل، كما يزداد سمك الأديم فى ظروف الجفاف والحرارة العالية.. فهى صفة شديدة التأثر بالعوامل البيئية المحيطة بالنبات (عن Parsons ١٩٧٩)؛ ولذا.. فإن التعرف على أقصى قدرة للتركيب الوراثى على إنتاج الشمع السطحى يتطلب قياسها تحت ظروف الشدّ.

كذلك تعكس الأوراق التى تكثر شعيراتها Pubescent leaves الأشعة الشمسية (بين ٤٠٠، و٧٠٠ نانوميتر، وأحيانًا حتى ٩٠٠ نانوميتر) بدرجة أكبر بكثير من الأوراق العديمة الشعيرات (كما فى الجنس *Encelia*)؛ الأمر الذى يعمل على خفض درجة حرارة الأوراق؛ ومن ثم خفض معدل نتح الماء منها (عن Clarke & Townley-Smith ١٩٨٤).

عدم الارتفاع الكبير فى درجة حرارة الأوراق

ترتبط درجة حرارة الأوراق — تحت ظروف نقص الرطوبة الأرضية — ارتباطًا وثيقًا بمعدل النتح، الذى يكون — بدوره — دليلاً على مدى قدرة النبات على امتصاص الرطوبة اللازمة لاستمرار عملية النتح.

وقد توصل Stark وآخرون (١٩٩١) — من دراستهم على ١٤ صنفًا وسلالة من البطاطس — إلى وجود علاقة خطية بين ΔT (وهى الفرق بين درجة حرارة الهواء ودرجة حرارة النموات الخضرية أثناء النهار فى الأيام الصحوة)، والنقص فى ضغط بخار الماء Vapor

Pressure Deficit — فى النباتات — فى حالات معاملات الرى المختلفة؛ وبذا.. أمكنهم استخدام ΔT - بكفاءة — فى تقييم القدرة النسبية على تحمل ظروف الجفاف فى البطاطس.

انخفاض كثافة الثغور واستجابة سلوكها لشدّ الجفاف

تتوفر دلائل على أن سلوك الثغور أمر تحكمه العوامل الوراثية؛ فمثلاً.. لا تغلق الثغور طبيعيًّا فى طفرة الطماطم "الذابلة" التى يوجد فيها مستوى منخفض من حامض الأبسيسيك، ويمكن تحفيز انغلاق الثغور فيها برش النباتات بالحامض. كذلك تعرف طفرات "ذابلة" مماثلة فى البطاطس. وتختلف أصناف القطن فى مدة بقاء ثغورها مفتوحة أثناء النهار. ومن المهم أن تستجيب الثغور وتنغلق بسرعة عند نقص الرطوبة الأرضية، بالرغم من أن ذلك الانغلاق يكون على حساب تبادل الغازات والبناء الضوئى.

وعمومًا.. فإن معظم الماء الذى يمتصه النبات يفقد مباشرة بالنتح من خلال الثغور، بينما يفقد جزء يسير منه (من ٢٪–٥٪ حسب النوع النباتى) عن طريق النتح الأديمى (من خلال أديم البشرة مباشرة)، ولا يستفيد النبات — فى نموه — سوى بأقل من ٥٪ من كمية الماء الكلية الممتصة، والتى تقدر فى الذرة بنحو ٢٠٥ لترات من الماء خلال موسم النمو.

ولخفض كمية الماء التى تفقدها النباتات بالنتح يتعين أن تنغلق الثغور عندما تتعرض للشدّ الرطوبى. وتختلف درجة الشدّ الرطوبى التى تستحث الثغور على الانغلاق باختلاف الأنواع النباتية؛ فهى –٨ ضغط جوى فى الفاصوليا مقارنة بنحو –٢٨ ضغط جوى فى القطن تحت ظروف الحقل، تنخفض إلى –١٦ ضغط جوى تحت ظروف البيوت المحمية (عن Quisenberry وآخرين ١٩٧٩).

بهتان لون الأوراق

يمكن أن يؤثر لون الأوراق فى خصائصها الحرارية، ومن أبرز الأمثلة على ذلك سلالات القمح ذات الأوراق الصفراء (التى تكون أقل احتواء على الكلوروفيل عما تحتويه الأصناف العادية ذات الأوراق الخضراء)، وهى التى تكون أكثر عكسًا للأشعة الضوئية.

وتكون حرارتها أقل ارتفاعًا، ولا تكون الأضرار التى يمكن أن تحدث لنظام البناء الضوئى فيها فى ظروف الإضاءة العالية والجفاف بنفس القدر الذى يحدث فى الأصناف العادية (Blum ٢٠٠٧).

صغر حجم الخلايا وبطء النمو النباتى

يلاحظ أن خلايا النباتات تكون أصغر حجمًا فى ظروف نقص الرطوبة الأرضية، كما تكون فجواتها صغيرة الحجم. وتتميز الخلايا الصغيرة الحجم بأنها تكون أقل تعرضًا للأضرار الميكانيكية أثناء جفاف الأنسجة النباتية، كما أنها تسمح بانخفاض الضغط الأسموزى فيها؛ الأمر الذى يزيد من قدرتها على البقاء منتفخة.

وينعكس الحجم الصغير للخلايا — فى النباتات التى تتحمل الجفاف — على معدل نمو بادراتها، ونباتاتها الكاملة، وأعضائها المختلفة، وخاصة الأوراق؛ حيث تكون صغيرة الحجم نسبيًا. إلاّ أن استمرار الخلايا فى النمو والزيادة فى الحجم — تحت ظروف نقص الرطوبة الأرضية — يعنى تميز النباتات بقدرة أكبر على تحمل الجفاف. ففى ظروف الجفاف.. تموت النباتات الحساسة، ويتوقف نمو النباتات المتوسطة التحمل، بينما يستمر نمو النباتات الشديدة التحمل.

التبكير فى النضج

يفيد التبكير فى النضج فى زيادة إنتاجية المحاصيل الزراعية عند نقص الرطوبة الأرضية، وهو — كما أسلفنا — يعد إفلاتًا من ظروف الجفاف؛ لأنه لا يجعل النبات أكثر تحملاً لظروف الجفاف إن تعرض لها. وقد وجد فى القمح — على سبيل المثال — ارتباط سالب قوى بين محصول الحبوب وعدد الأيام إلى حين بدء ظهور السنبلة، وأمكن إرجاع ٤٠٪–٩٠٪ من الاختلافات بين السلالات فى محصول الحبوب — تحت ظروف الجفاف — إلى مدى التبكير فى النضج.

تأخر الوصول لحالة الشيخوخة

بطء الشيخوخة slow senescence أو عدم الشيخوخة non-senecence أو تأخر الشيخوخة delayed senescence، أو استمرار اللون الأخضر stay-green.. كلها مسميات لحالة لا تفقد فيها الأوراق لونها الأخضر بنفس السرعة التى يحدث بها ذلك فى الأصناف العادية. توجد تلك الصفة فى عديد من المحاصيل الرئيسية، وهى تفيد فى استمرار البناء الضوئى فيها لفترة أطول من الوقت، ومن ثم زيادة المحصول. وتفيد تلك الصفة فى الحد من تأثير الجفاف الذى يُسرع من شيخوخة الأوراق. وتجرى الدراسات على تحسين صفة استمرار اللون الأخضر من خلال إما تحفيز إنتاج النباتات للكينتين، وإما من خلال تثبيط إنتاج الإثيلين بالشفرة المضادة (Blum ٢٠٠٧).

زيادة مخزون الماء فى الجدر الخلوية

يفيد تخزين الماء فى الجدر الخلوية Apoplastic Water كمخزون احتياطى يعمل على تأجيل جفاف الأنسجة النباتية حال تعرض النباتات لنقص فى الرطوبة الأرضية. وقد لوحظ وجود مخزون كبير من هذا الماء فى النباتات التى تتحمل ظروف الجفاف؛ ويعنى ذلك أن الجدر الخلوية السميكة — التى تكون أكثر قدرة على تخزين الماء — تعد من العوامل الهامة فى تحمل النباتات للجفاف.

تحمل الأغشية الخلوية لأضرار الجفاف

وجد أن الكائنات الحية، والأعضاء النباتية — التى يمكنها البقاء تحت ظروف الجفاف — تتميز بتمثيل سكر التريهالوز trehalose أثناء فقدها للرطوبة، أو أثناء إعادة اكتسابها للرطوبة بعد جفافها. ويُعتقد أن التريهالوز يغير الخصائص الفيزيائية لليبيدات الفوسفورية Phospholipids التى توجد فى الأغشية الخلوية بطريقة تسمح بثبات تلك الأغشية فى ظروف الجفاف. كما ذُكر أن الخصائص الفيزيائية لليبيدات الجافة تكون — فى وجود التريهالوز — مماثلة لما تكون عليه فى الليبيدات الرطبة hydrated lipids (عن Myers وآخرين ١٩٨٦).

توفر قنوات الماء بالأغشية الخلوية

توجد بالغشاء البلازمى المحيط بالسيتوبلازم، وكذلك الغشاء البلازمى المبطن له حول الفجوات العصارية (الـ tonoplast) ما يعرف باسم قنوات الماء water channels، أو الثقوب المائية aquaporins، وهى بروتينات توجد بتلك الأغشية وتنظم انتقال الماء عبره. وهذه الثقوب تختص بمرور الماء فقط، وتستجيب لإشارات معينة أو محولات جزيئية molecular switches. وتلعب تلك الثقوب دورًا هامًّا فى العلاقات المائية بالخلايا استجابة للنقص المائى فى النباتات والشد الأسموزى؛ مما يؤدى إلى تحسين انتقال الماء. ولاشك أن الفهم الأفضل لطبيعية عمل تلك القنوات أو الثقوب المائية سوف يزيد من فهمنا لطبيعة تحمل شدّ الجفاف، وهو أمر يحظى باهتمام الباحثين (Blum ٢٠٠٧).

المحافظة على معدل البناء الضوئى المناسب

تؤثر جميع العوامل الفسيولوجية التى سبق بيانها – بصورة مباشرة، أو غير مباشرة فى معدل البناء الضوئى فى النباتات؛ فهو المحصلة النهائية لمدى قدرة النبات على تحمل الجفاف. وقد وجدت – بالفعل – اختلافات فى معدل البناء الضوئى بين أصناف وسلالات عديد من الأنواع النباتية؛ ولكن ظهور تلك الاختلافات – تحت ظروف الجفاف فقط – أمر لم يمكن إثباته إلاّ فى أنواع قليلة، منها السورجم (عن Clarke & Townley-Smith ١٩٨٤).

القدرة على زيادة إنتاج حامض الأبسيسك فى ظروف شد الجفاف

يزداد مستوى حامض الأبسيسك فى النبات بدرجة كبيرة استجابة لشدّ الجفاف، مما يؤدى إلى انغلاق الثغور، ومن ثم خفض مستوى الفقد المائى بالنتح من الأوراق، وتنشط جينات الاستجابة للشدّ. وهذا التفاعل قابل لأن يُعكس؛ فما أن يصبح الماء متوفرًا حتى ينخفض مستوى حامض الأبسيسك، ويعاد انفتاح الثغور. ولذا.. فإن زيادة حساسية النباتات لحامض الأبسيسك تعد أحد الأهداف الهامة لتحسين تحمل الجفاف (ISAAA ٢٠٠٨).

التعديل أو التنظيم الأسموزى

أن بقاء الخلايا منتفخة يعد أمرًا حيويًّا بالنسبة لنموها وزيادة حجمها، وبذا.. فإن انتفاخ الخلايا الدائم يعد ضروريًّا لاستمرار النمو النباتى.. ونظرًا لأن نقص الرطوبة الأرضية يؤدى إلى فقدان الخلايا لبعض رطوبتها — الأمر الذى يؤدى إلى انكماشها — فإن نقص الرطوبة يكون مصاحبًا بنقص فى معدل النمو النباتى، بما فى ذلك نمو الجذور الضرورى لاستمرار امتصاص الماء من أكبر قدر ممكن من التربة القليلة الرطوبة.

ويمكن المحافظة على بقاء الخلايا منتفخة ببعض وسائل التأقلم؛ مثل: صغر حجم الخلايا، وزيادة مطاطية الأغشية الخلوية، وزيادة الضغط الأسموزى للخلايا، فيما يعرف باسم التنظيم الأسموزى. ويحدث التنظيم الأسموزى من خلال تراكم المواد العضوية الذائبة فى السيتوبلازم.

ومن أهم المركبات التى تتراكم فى ظروف الجفاف ما يلى (عن Hughes وآخرين ١٩٨٩).

Betaine	Ascorbate
Glutathione	Proline
Alpha-tocopherol	Polyols (mannitol, sorbitol, pinitol)

ويُفيد التعديل أو التنظيم الأسموزى osmotic adjustment فيما يلى:

١- المحافظة على بقاء الخلايا ممتلئة؛ مما يعمل على تأخير الذبول.

٢- المحافظة على استمرار النمو والإنتاج فى ظل ضعف الوضع المائى للنبات.

٣- حماية بروتينات الخلايا، والإنزيمات، والجزيئات الكبيرة macromolecules، وعضيات الخلية، والأغشية البلازمية من الجفاف والتلف.

٤- استمرار الجذور فى النمو وامتصاص الماء من الطبقات السفلى من التربة.

٥- المحافظة على حيوية الأنسجة الميرستيمية فى ظروف الجفاف.

ولقد وجدت علاقة قوية بين التعديل الأسموزى وإنتاج الكتلة الحيوية تحت ظروف شدّ الجفاف فى كل من القمح والذرة الرفيعة وعديد من البقول والصليبيات.

هذا.. وبعد زوال حالة شدّ الجفاف فإن مختلف المركبات العضوية التى سبق تراكمها أثناء التعديل الأسموزى يُستفاد منها فى استعادة النمو السريع (Blum ٢٠٠٧).

يُعد البرولين أحد أهم المركبات العضوية الذائبة المتوافقة التى تتراكم فى النبات فى مواجهة الشدّ الأسموزى، خاصة فيما يتعلق بشدّ الجفاف وشدّ الملوحة. ويحدث هذا التراكم للبرولين بطريقتين: تنشيط تمثيل البرولين، وتثبيط تحلله، علمًا بأن الإنزيمين المصاحبين فى هذا الشأن تحت ظروف الشد — هما: delta-pyrroline-5-carboxylate synthetase (اختصارًا: P5CS)، وprolyine dehydrogenase (اختصارًا: ProDH). ولقد وضح فى التبغ المحول وراثيًّا أن البرولين يعمل كحامٍ أسموزى، وأن زيادة إنتاجه توفر حماية من حالات الشدّ الأسموزى فى النباتات المحولة (Yoshiba وآخرون ١٩٩٧).

ولقد تراوح محتوى نباتات الطماطم والفلفل والكرنب من البرولين — فى ظروف توفر الرطوبة الأرضية — من ٠,٢- ٠,٦مجم/جم (على أساس الوزن الجاف)، ولكن محتواها ارتفع إلى ٥٠ مجم/جم وزنًا جافًّا فى ظروف الجفاف (عن Parsons ١٩٧٩). ووجدت نفس هذه العلاقة بين تركيز البرولين والرطوبة الأرضية فى كل من: عشب برمودا، والشعير، والسورجم، والقمح.

ومع ذلك.. فلم تظهر علاقة واضحة بين تراكم البرولين فى النباتات وبين قدرتها على تحمل الجفاف. ففى السورجم.. وجدت اختلافات معنوية بين الأصناف فى مدى تراكم

البرولين فيها، ولكن دون أن يكون لذلك أدنى علاقة بقدرتها على تحمل الجفاف (Clarke &Townley-Smith ١٩٨٤)، بينما كان تراكم البرولين بدرجة أكبر فى سلالات الشعير الأكثر قدرة على تحمل الجفاف.

يتراكم البرولين الحر فى النباتات عند تعرضها للشد الرطوبى. ولا يتجمع هذا البرولين نتيجة لهدم البروتين الموجود فى النبات، ولكن نتيجة لتمثيل كميات منه تحت ظروف الشد الرطوبى. وبالرغم من أن البرولين يُسهم فى زيادة الضغط الأسموزى، إلا أنه من المشكوك فيه أن يكون لتراكمه دور فى المحافظة على حياة النباتات.

ويستدل من نتائج دراسات El-Sayed (١٩٩٢) ازدياد تراكم البرولين فى أوراق وجذور الفلفل (وخاصة فى الجذور) مع ازدياد الشدّ الرطوبى الذى تتعرض له النباتات. كذلك لاحظ الباحث ما يلى:

١- انخفض نشاط إنزيم Proline Dehydrogenase فى أوراق وجذور النباتات مع زيادة الشد الرطوبى إلى أن وصل النقص فى نشاط الإنزيم إلى ٨٥٪ فى أقصى درجات الشد الرطوبى.

٢- كان نشاط إنزيم Proline Oxidase فى نباتات معاملة الشاهد أعلى بكثير فى الجذور مما فى الأوراق.

٣- هذا.. بينما ثُبِّط نشاط إنزيم Proline Oxidase – تحت ظروف الشد الرطوبى – بدرجة أعلى بكثير فى الجذور منها فى الأوراق.

ويتراكم البيتين Betaine – كذلك – بطريقة مماثلة للبرولين فى ظروف الشد الرطوبى، وهو يُصنَّع من السيرين Serine (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

ووجد أن البرولين تراكم فى جميع أصناف الطماطم المختبرة بزيادة فترة تعرضها للجفاف، ولكن دون أن يكون هناك أى ارتباط بين ذلك التراكم وتحمل الجفاف؛ بما يعنى عدم إمكان الاعتماد على تلك الخاصية فى التقييم لتحمل الجفاف (Thakur ١٩٩١).

وتبين لدى مقارنة تراكم البرولين فى عدد من أصناف الفاصوليا المتحملة للجفاف (مثل Negro 150، وMichoacan 12A3) والحساسة (مثل Flor de Mayo، و Cacahuate 72) أن البرولين الحر تراكم فى أوراق كل الأصناف، وكان أكثر التراكم فى الصنفين الحساسين. ولقد اقترح أن تراكم البرولين ربما يكون أحد أعراض شدّ الجفاف فى الأصناف الحساسة، وربما يلعب دورًا هامًّا فى المحافظة على امتلاء الخلايا turger فى الأصناف المتحملة للجفاف (Andrade وآخرون ١٩٩٥).

القدرة على تكوين مضادات الأكسدة

تمثل الجذور الحرة free radicals والبيروكسيدات peroxides فئة من الجزيئات التى تنتج من أيض الأكسجين، وتعرف باسم المواد أو العناصر النشطة فى الأكسدة reactive oxygen species (اختصارًا: ROS). هذا وتوجد مصادر عديدة للـ ROS يمكن أن تُحدث أضرار أكسدة للكائنات الحية. وتأتى معظمها كنواتج جانبية لتفاعلات طبيعية وضرورية، مثل تلك الخاصة بتوليد الطاقة فى الميتوكوندريا. وتكون الجذور الحرة غير ثابتة لأن بها إليكترونات غير متزاوجة unpaired فى تركيبها الجزيئى؛ مما يجعلها تتفاعل على التو مع أى مادة حولها؛ وبذا.. فإنها تتلف الأغشية الخلوية، والإنزيمات، والدنا DNA.

ومضادات الأكسدة مواد نشطة تتكون طبيعيًّا فى كل الكائنات الحية، وتؤدى إلى التخلص من الجذور الحرة. ومن أمثلتها الـ superoxide dismutase، والـ catalase، والـ glutathione reductase، والـ dehydroxyascorbate reductase، والـ monodehydroxyascorbate reductase، والـ ascorbate peroxidase. ونجد — مثلاً— أن الـ superoxide dismutase يحول الـ O_2^o إلى فوق أكسيد الأيدروجين، والـ catalase يحول فوق أكسيد الأيدروجين إلى أكسجين O_2.

يزداد الشدّ التأكسدى فى النباتات فى ظروف الجفاف والشدّ الأسموزى وبعض

حالات الشدِّ الأخرى، ويعمل تواجد مضادات الأكسدة على الحد من أضرار الـ ROS (عن Hughes وآخرين ١٩٨٩، وBlum ٢٠٠٧).

إنتاج بروتينات الـ LEA

تعرف مجموعة من البروتينات ذات وزن جزيئى صغير يُنَظم إنتاجها فى البذور أثناء تكوينها، كما فى الشعير على سبيل المثال. ويلعب تكوينها أثناء تكوين جنين البذرة دورًا فى حماية الجنين أثناء نضج البذور وفقدها للرطوبة خلال تلك المرحلة. وتعرف تلك البروتينات باسم late embryogenesis abundant proteins (اختصارًا: LEA proteins). وقد تبين أن تلك البروتينات تشكل عائلة تضم عدة بروتينات متشابهة مثل الديهدرينات dehydrins، وأنها ليست قاصرة على أجنة البذور، ويمكن حث إنتاجها تحت ظروف شدِّ الجفاف فى عديد من الأنسجة النباتية. وبعض تلك البروتينات يستجيب لحامض الأبسيسك، بينما لا يستجيب بعضها الآخر، وهى تلعب دورًا فى تحمل شدِّ الجفاف والشدِّ الأسموزى عامة (Blum ٢٠٠٧).

ولمزيد من التفاصيل المبكرة عن فسيولوجيا تحمل الجفاف فى النباتات.. يراجع Turner & Kramer (١٩٨٠)، وPaleg & Aspinall (١٩٨٠). كما يمكن الإطلاع على تفاصيل التغيرات الأيضية ذات العلاقة بتحمل شدِّ الجفاف فى Seki وآخرين (٢٠٠٧). ويتناول Atkin & Macherel (٢٠٠٨) بالشرح دور الميتوكوندريا فى تحمل النباتات لشدِّ الجفاف.

وسائل زيادة قدرة النباتات على تحمل الشدِّ الرطوبى

يمكن زيادة قدرة النباتات على تحمل الشدّ الرطوبى بإحدى وسيلتين: إما بتقليل معدل نتحها للماء، وإما بتحفيز مزيد من النمو الجذرى لزيادة كفاءته فى امتصاص الماء.

ومن الوسائل التى اتبعت لتحقيق الهدف الأول – وهو خفض معدل النتح – ما يلى:

١-استخدام مضادات النتح التى تكوّن غشاءً على الأسطح النباتية يمنع النتح أو يقلله.

٢-استخدام المركبات الكيميائية التى تغلق الثغور جزئيًا أو كليًا.

٣-استخدام مثبطات أو مانعات النمو التى تغير الشكل الظاهرى للنبات؛ بتقليل حجم الأوراق وعددها، ونسبة النمو الخضرى إلى النمو الجذرى، وتقليل عدد الثغور فى وحدة المساحة من الأوراق، أو تغيير النمو النباتى بما يناسب زيادة كفاءة الاستفادة من الماء المُتاح.

٤-زيادة انعكاس الإشعاع الشمسى من الأسطح النباتية بالمعاملة بأحد المركبات المناسبة.

تُصنَّع مضادات النتح المكونة للأغشية من بوليمرات polymers؛ مثل شموع البولى فينيل polyvinyl waxes أو البوليثيلين polyethylene، أو الفينيل أكريليت vinylacrylate. كما استخدمت كحولات مثل الهكساديكانول Hexadecanol.

وهذه المركبات تعمل على منع بخار الماء من ترك الأنسجة الداخلية بالأوراق، ولكنها تقف حائلاً كذلك أمام تبادل غازى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون. وتعمل هذه المركبات على خفض النتح بنسبة ٣٠٪-٥٠٪ عندما تكون تغطيتها للأسطح النباتية بنسبة ٥٠٪.

كما تتوفر مضادات نتح تؤثر فى النشاط البنائى للنبات، ويعيبها تأثيراتها الجانبية العديدة الأخرى. وقد استخدمت مركبات مماثلة لحامض الأبسيسك أو ذات نشاط مضاد للسيتوكينينات. ومن المركبات الطبيعية المماثلة لحامض الأبسيسك حامض الفاسيّك Phaseic acid، و Dihydrophaseic acid، وزانثوكسين Xanthoxin، وفومى فوليول Vomifoliol.

ومن أمثلة مضادات السيتوكينينات مركب 3-methyl-7-pentylaminopyrazoli-(4,3-d)-pyrimidine الذى يمنع انفتاح الثغور.

كما وجد أن حامض الأبسيسك ومضادات السيتوكينينات يعملان معًا بكفاءة أكثر من أن يعمل كل منهما منفردًا (تعمل تداؤبيا Synergistically).

ومن المركبات التى استخدمت لتغيير الشكل الظاهرى للنباتات – بهدف تقليل النتح – كل من:

السيكوسل (CCC)، وهو: Chlorocholine chloride.

AMO-1618، وهو: ammonium (5-hydroxycarvacryl) trimethylchloride piperidine hydrochloride.

CBBP، وهو: 2,4 dichlorolenzyltributylphosphonium chloride.

SADH، وهو: succinic acid 2,2-dimthylhydrazide.

يؤدى استعمال أى من هذه المركبات إلى تثبيط النمو، كما أن بعضها يقال مساحة الأوراق، وكثافة الثغور، وزيادة سمك الأوراق، ونسب الجذور إلى النموات الخضرية (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

ومن أهم المركبات التى تتحكم فى حركة الثغور مثبطات التنفس؛ مثل مركب phenyl mercuric acetate، وبدرجةٍ أقل؛ كل من: Atraxine، وsodium azide، و carbonyl cyanide. ويعتقد أن هذه المركبات تغير من نفاذية أغشية الخلايا الحارسة؛ وبذا تمنعها من أن تصبح ممتلئة ومنتفخة turgid (عن Hanan وآخرين ١٩٧٨).

مضادات النتح واستعمالاتها

إن مضادات النتح Antitranspirants هى مركبات ترش بها النباتات بهدف خفض معدلات نتح الماء منها؛ الأمر الذى يُفيد بعد الشتل مباشرة، وعند نقص الرطوبة الأرضية مع توفر ظروف جوية تُزيد من معدلات النتح. ويكون تأثير مضادات النتح إما من خلال تكوينها لحاجز فيزيائى (غشاء)، وإما بتحفيزها إغلاق الثغور.

تستعمل المركبات المكونة للأغشية كمستحلبات مائية، حيث ترش بها النباتات، أو تغمس فيها الشتلات. وبعد تبخر المادة الحاملة (الماء).. يتبقى غشاء من المادة مغطيًا سطح الأوراق، ومكونًا حاجزًا فيزيائيا يمنع – أو يخفض – فقد بخار الماء من الورقة، كما يزيد الغشاء كثيرًا من مقاومة فقد الماء من خلال الثغور، ولكن تأثيره يكون قليلاً عندما تكون الثغور مغلقة. وتستخدم عديد من المركبات كمكونات للأغشية على الأسطح النباتية؛ منها: السيليكون، والبوليفينيل كلوريد، وعديد من الشموع والكحولات الدهنية.

وقد وجد Ibrahim وآخرون (١٩٩٣) أن مضادات النتح المكونة للأغشية (مستحلب شمعى، وepoxy–linseed oil emulsion بتركيز ١,٢٥٪ لأى منهما) أدت إلى زيادة محصول الطماطم والكوسة جوهريا – مقارنة بمعاملة الشاهد – ولكن مضاد النتح phenyl mercuric acetate (الذى يؤدى إلى انغلاق الثغور) – بتركيز ٠,٠١ مللى مولار – أنقص المحصول. وقد أدت جميع مضادات النتح المستعملة والمشار إليها إلى زيادة كفاءة استعمال النبات لمياه الرى.

أما المركبات التى تؤدى إلى انغلاق الثغور أو تثبيط انفتاحها فإنها إما أن تؤثر – بصورة غير مباشرة – من خلال عملها كمثبطات أيضية لبعض مراحل التنفس؛ مثل phenylmercuric acetate (اختصارًا: PMA) وAlkenylsuccinic acids، وإما أن تؤثر بصورة مباشرة فى عمل الثغور، كما فى حالة الهرمون الطبيعى حامض الأبسيسك، ومنظم النمو ٢، ٤ – د 2,4- D.

هذا.. ولا يجوز استعمال مركبات مثل PMA كمضادات للنتح فى المحاصيل التى تستعمل فى تغذية الإنسان؛ مثل محاصيل الخضر؛ لاحتوائها على الزئبق (عن McKee ١٩٨١).

وبصورة عامة.. لم يلق استعمال مضادات النتح نجاحًا تجاريا؛ بسبب خفضها لمعدلات حصول النبات على غاز ثانى أكسيد الكربون؛ ومن ثم تقليلها لمعدل عملية البناء

الضوئى، فى نفس الوقت الذى تقلل فيه مضادات النتح ذاتُها من عملية البناء الضوئى.

وبالرغم من أن استعمال مضادات النتح يؤدى إلى زيادة نسبة النتح Transpiration Ratio (وهى نسبة جرامات ثانى أكسيد الكربون التى يثبتها النبات لكل جرام يفقده من الماء).. إلاّ أن غالبية البحوث المنشورة تُجْمِع على أن محصلة التأثير النهائى لاستعمال مضادات النتح هى خفض المحصول.

هذا.. إلا أن استعمال مضادات النتح فى مرحلة معينة من النمو وفى ظروف خاصة قد يكون له تأثير إيجابى على المحصول، أو نوعيته، أو موعد الحصاد. ومن أهم تلك المراحل الفترة التى تعقب عملية شتل الخضر مباشرة فى الحقل، حيث يؤدى ضعف قدرة النباتات على امتصاص حاجتها من الرطوبة الأرضية - حينئذ - إلى حدوث شد رطوبى عالٍ وفجائى.

وقد وجد Nitzsche وآخرون (١٩٩١) أن رش شتلات الفلفل بكل من Foli-cote (وهو مستحلب بارفين شمعى) بتركيز ٥٪، والمادة الناشرة اللاصقة Biofilm بتركيز ٠,٥٪ كان فعالاً - لعدة أيام - فى خفض حدة الشد الرطوبى الذى تتعرض له النباتات بعد الشتل.

ومن أهم مضادات النتح المستخدمة تجاريا ما يلى: (عن Amer. Soc. Hort. Sci. - العدد الثانى، المجلد ١١٨ لعام ١٩٩٣).

المركب	التخفيف المستعمل	نوع المركب
AntStress 2000	١ : ١٠٠، و١ : ٤٠	Acrylic polymer
Clearspray	١ : ١٠٠	Acrylic polymer
Cloudcover	مخلوط سابق التجهيز	غير معلوم
Folicote	١ : ٢٠	Hydrocarbon wax emulsion
ForEverGreen	١ : ٧	Acrylic co-polymer
Needlehold	١ : ٤٠	Terpenic polymer
WiltPruf	١ : ٥	Terpenic polymer

ومن مضادات النتح المستخدمة على نطاق واسع فى الصين مركب يعرف بالاسم التجارى gao-zhi-mo، ويعرف اختصارًا باسم GZM، وهو مستحلب مائى ثابت يحتوى على الـ dodecyl alcohol كمكون رئيسى. يكوّن هذا المركب عند رشه على النباتات غشاءً مستمرًا يسمح بتبادل غازى الأكسجين وثانى أكسيد الكربون، ولكنه يمنع مرور الماء. ويبقى هذا الغشاء بحالة جيدة لمدة ١٥ يومًا تحت ظروف الحقل دون أن يتأثر بالأمطار.

وقد تبين أن للـ GZM خصائص أخرى وقائية ضد الأمراض؛ حيث أدى رش نباتات الطماطم به مرتين على مدى ١٠ أيام بتركيز ٥٠٠٠ جزء فى المليون مع المبيد الفطرى Bavistin إلى خفض معدلات الإصابة بكل من الندوة المبكرة وتبقع الأوراق السبتورى.

كذلك أدى الرش بالـ GZM إلى خفض معدلات الإصابة بكل من البياض الزغبى فى الخيار، والأنثراكنوز فى البطيخ، والعفن المر فى التفاح.

ويستخدم الـ GZM كذلك فى المجالات التالية فى الصين:

١- تقليل الفقد فى الوزن فى تقاوى البطاطس المقطعة.

٢- زيادة قدرة الشتلات على تحمل الشتل بتقليل فقدها للماء بعد الشتل.

٣- تقليل أضرار الرياح القوية على البادرات.

٤- زيادة قدرة شتلات البرتقال على تحمل أضرار البرودة والصقيع.

٥- زيادة نسبة عقد ثمار البرتقال عند رش النباتات وهى فى مرحلة الإزهار التام.

٦- خفض معدلات الإصابة بكل من التربس فى الأرز، والـ rust mites فى البرتقال (عن Han ١٩٩٠).

كما أوضحت دراسات Marco & Cohen (١٩٩٤) أن رش نباتات الكوسة أسبوعيا بالـ Vapor Gard أدى إلى خفض معدل إصابتها بالبياض الدقيقى؛ الأمر الذى تحقق – كذلك – برش النباتات بماء الكلس (الجير).

معاملات خاصة لتحمل الشدّ الرطوبى فى بعض محاصيل الخضر

الطماطم

معاملة سطح التربة بالزيين لتقليل الفقد الرطوبى بالبخر

دُرس تأثير معاملة سطح التربة بغطاء من الزيين zein — وهو بروتين يذوب فى الكحول يُعزل من الذرة — على نمو نباتات الطماطم وفقد الماء بالبخر السطحى من التربة. ولقد أظهرت الدراسة انخفاضًا فى الفقد المائى من بيئة النمو بالأصص التى عُوملت بغشاء من الزيين، مقارنة بالبخر من بيئة الزراعة غير المعاملة. كذلك ازداد طول النباتات فى الأصص المعاملة بنسبة ١١٪، ووزنها الجاف بنسبة ٦٥٪ عما حدث فى الأصص غير المعاملة. وقد بدا أن أغشية الزيين قد تكون بديلاً فعالاً لأغشية البوليثيلين كأغطية لسطح التربة (Parris وآخرون ٢٠٠٤).

التجفيف الجزئى للتربة

أدى التجفيف الجزئى للتربة التى تنمو فيها جذور الطماطم قبل معاودة ريها إلى توفير نحو ٥٠٪ ماء الرى، مع تحسين كثير من صفات جودة الثمار الهامة فى طماطم التصنيع، مثل محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية والسكريات الذائبة (السكروز والجلوكوز والفراكتوز)، مع زيادة فى إنتاجها للإثيلين، وانخفاض فى محتواها الرطوبى (Naghighi وآخرون ٢٠١٣).

المعاملة بمضادات النتح

• وجد Rao (١٩٨٥) أن مضاد النتح antiranspirant بى إم أى PMA أدى إلى غلق الثغور، وقلل تأثير النتح على عملية البناء الضوئى. كما وجد أن رش النباتات بالكاولينيت Kaolinite (وهو أحد أنواع الطين العاكسة للضوء) أدى إلى زيادة مقدرة الأوراق على عكس الضوء الساقط عليها؛ مما أدى إلى انخفاض درجة حرارة الأوراق، ونقص معدل النتح، وإحداث نقص بسيط فى معدل البناء الضوئى. وقد أدى رش النباتات مرة واحدة

بأى من مضادات النتح بى إم أى PMA، أو ٨-إتش كيو 8-HQ، أو كاولينيت فى مرحلة بداية تكوين البراعم الزهرية إلى زيادة محصول الطماطم.

- كذلك قارن Ibrahim وآخرون (١٩٩٣) تأثير معاملة النموات الخضرية للطماطم بنوعين من مضادات النتح الغشائية film-type (هما: ١,٢٥٪ مستحلب زيت بذرة الكتان، و١,٢٥٪ مستحلب شمعى)، وأحد مضادات النتح التى تُغلق الثغور stomatal antitranspirant (هو: phenyl mercuric acetate بتركيز ٠,٠١ مللى مولارًا)، ووجدوا أن مضادات النتح الغشائية أحدثت زيادة معنوية فى المحصول، بينما أدى مضاد النتح الثغرى (الأخير) إلى نقص المحصول، مقارنة بمعاملة الشاهد. كما أدت جميع معاملات مضادات النتح إلى زيادة كفاءة استعمال الماء ونقص حاجة النباتات إلى الرى، مقارنة بالكنترول.

- كما وجد أن الكاولين kaolin - الذى استُعمل كمضاد للنتح antitranspirant - يُحفز فقد الماء من الأوراق المفصولة للطماطم، ومن الثمار، ومن نباتات الطماطم النامية. وقد تبين أن مسحوق الكاولين الدقيق يمتص كمية محدودة من الماء على سطح النبات، ويؤدى إلى زيادة النتح، وربما يحدث ذلك من خلال طبقة الأديم، وليس من خلال الثغور. وأدى الكاولين إلى زيادة النتح من الثمار على الرغم من أن الثمار لا يوجد بها أى ثغور أو قد يوجد بها ثغور قليلة للغاية (Nakano & Uehara ١٩٩٧).

رش الشتلات بحامض الأبسيسك

دُرس تأثير رش شتلات الطماطم - وهى فى "السدادات التكنولوجية" فى مرحلة الورقة الحقيقة الرابعة - بحامض الأبسيسك S-abscisic acid - (+) بتركيزات وصلت إلى ٥٠٠ مجم/لتر إلى وقف نمو البادرات عندما خزنت فى الظلام على حرارة الغرفة لمدة ١٠ أيام. وفى الوقت الذى ذبلت فيه الشتلات التى لم تُعامل وانخفض فيها جوهريًا الجهد المائى والامتلاء بالأوراق، فقد حُوفظ عليهما فى الشتلات المعاملة (Ikeda وآخرون ١٩٩٩).

المعاملة بمضادات الأكسدة

يعتقد بأن التحضير التجارى Ambiol (وهو مشتق من 5-hydroxybenzimazole) يستحث خاصية تحمل ظروف الجفاف فى كثير من النباتات، كما يعتقد بأن ذلك مرده إلى خصائصه المضادة للأكسدة، خاصة وأن كثيرًا من المركبات المضادة للأكسدة لها نفس التأثير. ولقد وجد أن نقع بذور الطماطم فى أى من محاليل الـ ambiol بتركيز ١٠ مجم/لتر، أو البيتاكاروتين بتركيز ١,٠ مجم/لتر، أو حامض الأسكوربيك بتركيز ٠,١ مجم/لتر، أو الليكوبين بتركيز ٠,١مجم/لتر أدت إلى زيادة الوزن الجاف للنموات الخضرية للبادرات – التى عُرِّضت لشدٍّ رطوبى– بنسبة ١١٤٪، و٩٤٪، و٥٦٪، و٨٣٪، على التوالى، مقارنة بما حدث فى البادرات غير المعاملة التى عُرِّضت لظروف الجفاف. ولقد ظهرت فوائد مماثلة فى كل من الكتلة الحيوية للجذور، والمساحة الورقية، والبناء الضوئى، وكفاءة استخدام الماء. كما استحثَّت معاملتى الـ Ambiol والبيتاكاروتين تمثيل بروتينات خاصة ربما كان لها دور فى تحمل الجفاف (MacDonald وآخرون ٢٠٠٩).

المعاملة بالبراسينوستيرويد

أدت معاملة نباتات الطماطم بالبراسينوستيرويد brassinosteriod إلى الحد من تعرضها لأضرار شد الجفاف. ففى إحدى الدراسات.. رُشَّت أوراق الطماطم بالـ 24-epibrassinolide بتركيز ٠,٠١، و ١ميكرومول يوميًا لمدة ثلاثة أيام، ثم عُرِّضت لثلاثة مستويات من شدٍّ الجفاف (الكنترول، و٣ و٥ أيام من وقف الرى). أدت المعاملة بالبراسينوستيرويد إلى خفض أكسدة الدهون ومحتوى الـ H_2O_2 بالنباتات. كما لوحظ فى معاملة شد الجفاف أن المعاملة بالبراسينوستيرويد أدت إلى زيادة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة (POD، وSOD، وCAT، وAPX) ومحتوى المركبات المضادة للأكسدة شاملة حامض الأسكوربيك والكاروتينويدات، والبرولين (Behnamnia وآخرون ٢٠٠٩).

التلقيح بالميكوريزا

على الرغم من ضعف استعمار الميكوريزا *Glomus clarum* لجذور الطماطم خلال فترات

الجفاف، فإن وجودها يُسهم فى تحسين معدل البناء الضوئى وتوصيل الثغور فى وجود الشدِّ الرطوبى أو فى غيابه؛ مما يؤدى إلى تحفيز النمو النباتى (Dell'Amico وآخرون ٢٠٠٢).

الفلفل

الرش بالشيتوسان

أدى رش النموات الخضرية للفلفل بالشيتوسان chitosan (وهو: beta-1-4-linked glucosamine polymer طبيعى) إلى تقليل استعمال النباتات للماء (بخفض النتح) بنسبة ٢٦٪ – ٤٣٪، دون التأثير على إنتاج الكتلة الحيوية والمحصول (Bittelli وآخرون ٢٠٠١).

البصل

التلقيح بالميكوريزا

يفيد استعمار الميكوريزا، وخاصة *Glomus versiforme* — لجذور البصل — أثناء تواجدها فى المشتل إلى تحسين المحصول وكفاءة استخدام النباتات للماء WUE فى ظروف الشد الرطوبى، وهى حقيقة تشترك فيها معظم الأنواع النباتية. وقد كان نوعا الميكوريزا *G. interardices*، و *G. elunicatum* مؤثرين — كذلك — فى زيادة كفاءة استخدام الماء عما فى نباتات الكنترول (Bolandnazar وآخرون ٢٠٠٧).

الخيار

المعاملة بحامض الأبسيسك

أدت معاملة بادرات الخيار بحامض الأبسيسك بتركيزات تراوحت بين ٠,٢٥، و١,٠٠ مللى مول إلى حمايتها من أضرار شدِّ الجفاف بزيادتها لمحتوى النموات الخضرية من البرولين، ومنعها لزيادة التسرب الأيونى من الأوراق. وقد كانت المعاملة بحامض

الأبسيسك أكثر فاعلية عندما أُجريت بطريقة نقع البذور عما كان عليه الحال عندما أجريت بطريقة الرش الورقى، وكانت أفضل معاملة هى تلك التى أُجريت بنقع البذور فى تركيز ٠,٥ مللى مول من الحامض (Baninasab ٢٠١٠).

الكنتالوب

زيادة التسميد بسلفات البوتاسيوم

وجد أن التسميد بكميات إضافية من سلفات البوتاسيوم تساعد فى زيادة تحمل الكنتالوب لشدّ الجفاف؛ الأمر الذى حدث على صورة تحسن فى محتوى الكلوروفيل، ومحتوى الماء النسبى، وتركيز عنصرى الكالسيوم والبوتاسيوم بالأوراق، مقارنة بالوضع عندما لم تتلق النباتات كميات إضافية من سلفات البوتاسيوم، مع استمرار تعرضها للشدّ الرطوبى (Tuna وآخرون ٢٠١٠).

المعاملة بحامض الأبسيسك

تؤدى زيادة النتح عن قدرة الجذور على امتصاص الماء إلى حدوث شدٍّ مائى فى بادرات الخضر عند شتلها. ويمكن للمعاملة بحامض الأبسيسك الحد من الفقد المائى بالنتح من خلال غلق الحامض للثغور ومنعه لزيادة الأوراق فى المساحة. وقد دُرس تأثير هذه المعاملة على بادرات الكنتالوب خلال مرحلة الشدّ المائى بعد الشتل، ووجد أنها تؤدى إلى المحافظة على المحتوى المائى للأوراق وإلى خفض التسرب الأيونى، وكانت تلك التأثيرات خطية أو أُسِّية مع زيادة تركيز حامض الأبسيسك المعامل به حتى ٧,٥٧ مللى مول، وتبين أن مرد تلك التأثيرات كان لغلق المعاملة للثغور. هذا إلا أن المعاملة بهذا التركيز كان لها تأثيرات سلبية جانبية تضمنت حدوث اصفرار بالأوراق ازداد بزيادة تركيز حامض الأبسيسك المعامل به، لكن الأوراق استعادت خضرتها بعد رى النباتات (Agehara & Leskovar ٢٠١٢).

الكوسة

التلقيح بالميكوريزا

ازداد استعمار الميكوريزا *Glomus interaradices* لجذور الكوسة فى ظروف شدٍّ الجفاف، وأحدثت المعاملة زيادة مؤكدة لتحمل الكوسة فى تلك الظروف (Abol-Nasr ١٩٩٨). وفى دراسة أخرى حسَّنت تلك الميكوريزا — التى ازداد استعمارها لجذور الفاصوليا فى ظروف نقص الفوسفور — من الحالة المائية للنباتات فى ظروف شد البرودة، وكان ذلك التأثير فى ظروف شدٍّ البرودة — أقوى عندما تعرضت النباتات — كذلك — لظروف شدٍّ الجفاف (El-Tohamy وآخرون ١٩٩٩).

البسلة

التعريض للأشعة فوق البنفسجية B

يقلل التعرض للأشعة فوق البنفسجية B (أو UV-B) من أضرار التعرض للجفاف فى البسلة؛ ذلك لأن التعرض لتلك الأشعة يقلل من فقد النبات للماء — من خلال التغيرات التى تحدثها فى النبات — والتى من أبرزها: تقليل درجة توصيل الثغور بالسطح العلوى للأوراق بنسبة ٦٥٪، ونقص المساحة الورقية بدرجة كبيرة، ونقص الكتلة البيولوجية biomass للنبات من خلال النقص فى أعداد الخلايا وانقساماتها (Nogués وآخرون ١٩٩٨).

الرش بالجليسين بيتين

أدى رش نباتات البسلة بالجليسين بيتين glycinebetaine (تحت ظروف الصوبة بتركيز ٠,٠٥، أو ٠,١، أو ٠,٢ مول عند عمر ٣ أسابيع، أو تحت ظروف الحقل بتركيزات وصلت إلى ١٥ كجم/هكتار عند مرحلة نمو الورقة الثالثة).. أدت إلى زيادة معدل النمو النسبى، وخاصة عندما أجريت المعاملة أثناء تعرض النباتات لظروف الجفاف، أو بعدها مباشرة، حيث أدى الرش بتركيز ٠,٢ مول جليسين بيتين إلى زيادة معدل النمو النسبى بعد أسبوعين من المعاملة، وكانت الزيادة بنسبة ٤٥٪ عندما أجريت المعاملة أثناء التعرض

للجفاف، وبنسبته ١٣٪ عندما أجريت بعد ذلك، إلا أن تأثير الرش بالجليسين بيتين تضاءل بعد ثلاثة أسابيع من المعاملة. كذلك أدت المعاملة إلى زيادة معدل النمو النسبى تحت ظروف الحقل أيضًا (Makela وآخرون ١٩٩٧).

الفاصوليا

زيادة التسميد البوتاسى

أدت زيادة تركيز البوتاسيوم فى المحلول المغذى لمزرعة رملية من ٠,١ إلى ٣,٠ ملى مولى إلى زيادة أطوال جذور الفاصوليا، ووزنها الجاف — وخاصة تحت ظروف نقص الرطوبة الأرضية — كما ازدادت أعداد الجذور الجانبية وتفرعاتها الثانوية، وأعداد العقد الجذرية، وتحسن النمو الخضرى، وكذلك ازداد المحتوى المائى للنباتات، وخاصة تحت ظروف نقص الرطوبة الأرضية (Sangakkara وآخرون ١٩٩٦).

إضافة المواد المحبة للرطوبة للتربة

أدى خلط التحضير التجارى المحب للرطوبة أكواسورب Aquasorb (وهو gel soil conditioner) مع الطبقة السطحية لتربة رملية جيرية بمعدل يزيد عن ٠,٣٪ على أساس الوزن الجاف (وهو ما يعنى أكثر من ثلاثة أطنان من المركب للفدان) إلى تحسين إنبات البذور، وزيادة ارتفاع النبات، ودليل المساحة الورقية، والوزن الجاف لكل من النمو الخضرى والجذرى، وعدد القرون ووزنها، وزيادة كفاءة استخدام مياه الرى. وقد تناقص محصول القرون بزيادة ملوحة مياه الرى من EC ٠,٤٥ إلى ٦,٢٥ مللى موز، وبزيادة معدل الرى من ٤٠٪ من البخر السطحى (E_v) إلى ٨٠٪، ولكن تلك الزيادة كانت مصاحبة بنقص فى كفاءة استخدام مياه الرى (Al-Sheikh & Al-Darby ١٩٩٦).

معاملات منظمات النمو

على الرغم من أن المعاملة بمثبطات النمو لا يوصى بها للفاصوليا، فإن المعاملة ببعضها أدى إلى تحسين قدرة النباتات على تحمل ظروف الجفاف. ومن بين المعاملات التى أعطت

نتائج إيجابية فى هذا الشأن الرى بالفوسفون — د Phosphon-D، والرش بأى من الفوسفون — س Phosphon-S أو الـ SADH، والرى أو الرش بالـ CCC. أجريت المعاملة بأى منهم مرتان، وكانت أولاهما عند اكتمال تكوين الورقة الأولية، ثم كانت الثانية بعد عشرة أيام. أدت جميع المعاملات إلى زيادة الوزن الجاف للنمو الجذرى، وإلى نقص نسبة النموات القمية إلى النموات الجذرية؛ الأمر الذى جعل النباتات أكثر قدرة على تحمل ظروف الجفاف (عن Weaver ١٩٧٢).

المعاملة بالجليسين بيتين

يؤدى تعرض الفاصوليا لنقص الرطوبة الأرضية إلى زيادة محتواها من الجليسين بيتين glycine betaine بنسبة حوالى ٢٦٪ مقارنة بالنباتات المروية جيدًا. وقد أدت معاملة النباتات بالجليسين بيتين بتركيز ١٠ مللى مول إلى زيادة قدرتها على تحمل نقص الرطوبة الأرضية عن نباتات الكنترول، حيث كانت النباتات المعاملة بالمركب أبطأ — خلال فترة التعرض لظروف الجفاف — فى نقص الجهد المائى فيها؛ ومن ثم كانت أبطأ فى ظهور أعراض الذبول عليها، كما كانت أقدر على استعادة وضعها الطبيعى بعد زوال حالة الجفاف. وبينما أدى نقص الرطوبة الأرضية إلى نقص معدل البناء الضوئى فى النباتات، وبطء نموها، فإن المعاملة بالجليسين بيتين تغلبت على تلك المشاكل، حيث لم يتأثر فيها النمو الكلى أو محصول القرون،أو تأثرًا قليلاً، مقارنة بما حدث فى النباتات التى لم تعامل بالمركب (Xing & Rajashekar ١٩٩٩).

فاصوليا المنج

الرش بالكاولين

أدى رش نباتات فاصوليا المنج (*Vigna radiata*) بالكاولين kaolin ثلاث مرات بعد ١٥، و٣٠، و ٤٥ يومًا من الزراعة بتركيز ٨٠جم/لتر إلى إمكان إطالة الفترة بين الريات من ١٠ إلى ١٥ يومًا دون حدوث انخفاض فى المحصول. ولقد ترافقت الزيادة فى

المحصول ومكوناته التى أحدثتها معاملة الكاولين بقيم أعلى لكل من المساحة الورقية، وفترة بقاء الأوراق، وإنتاج المادة الجافة / نبات (Kadbane & Mungse ١٩٩٧).

الفراولة

المعاملة بحامض الجاسمونك

أدت معاملة الفراولة بحامض الجاسمونك فى ظروف شدّ الجفاف إلى خفض النتح، والفقد المائى، ومحتوى الـ malondialdehyde، وكذلك إلى تقليل الانخفاض فى دهون الأغشية البلازمية، والجليكوليبيدات glycolipids، والفوسفوليبيدات phospholipids، ودرجة عدم تشبع الأحماض الدهنية، ونسبة حامض اللينولينك linolenic إلى حامض اللينوليك linoleic. كذلك قللت المعاملة بحامض الجاسمونك من معدل الزيادة فى نشاط البيروكسيديز peroxidase تحت ظروف الشد الجفافى. وقد ازداد كل من نشاط الكاتاليز catalase، والسوبر أوكسيد دسميتويز superoxide dismutase، ومحتوى حامض الأسكوربيك فى الأوراق المعاملة بحامض الجاسمونك مقارنة بالوضع فى أوراق الكنترول. ويُستفاد مما تقدم بيانه أن النباتات المعاملة بحامض الجاسمونك كانت أكثر تحملاً للشدّ المائى (Wang ٢٠٠٠).

الخرشوف

المعاملة بحامض الأبسيسك

وجد أن معاملة شتلات الخرشوف بحامض الأبسيسك رشًا بتركيز ١٠٠٠ مجم/لتر أدت إلى تحسين تحمل شد الجفاف؛ الأمر الذى ترافق مع المحافظة على الوضع المائى للنموات الخضرية وغلق للثغور؛ وبما يجعلها أكثر قدرة على تحمل صدمة الشتل. هذا بينما لم تكن مضادات النتح المكونة لغشاء سطحى (Antistress، وTransfilm، وVapor Gard) مؤثرة فى تجنب شدّ الجفاف (Shinohara & Leskovar ٢٠١٤).

الجزر

معاملة البذور بالـ AMBIOL

أدى نقع بذور الجزر فى محلول من الـ AMBIOL، وهو مشتق من 5-hydroxybenzimidazole، بتركيز ١٠مجم/لتر لمدة ٢٤ ساعة، ثم تعريض البادرات بعد ١٥ يومًا من إنباتها لشدٍّ رطوبى دام لمدة سبعة أيام.. أدى ذلك إلى التجنب التام للنقص فى إنتاج المادة الجافة بالنمو الخضرى، الذى يحدثه الشدّ الرطوبى، حيث أدت تلك المعاملة – فى حالة التعرض للشدّ الرطوبى – إلى زيادة إنتاج المادة الجافة بنسبة ٢١٤٪ عما فى النباتات غير المعاملة التى تعرضت للشدّ الرطوبى، وبنسبة ٢٦٪ فى حالة عدم التعرض للشدّ الرطوبى عما فى النباتات غير المعاملة التى لم تعرض لمعاملة الشد. ويعتقد بأن مرد ذلك كان إلى زيادة المعاملة للنمو الجذرى (Rajasekaran & Blake ٢٠٠٢).



الفصل الخامس

شد غدق التربة (زيادة الرطوبة الأرضية)

يُعَرَّف غدق التربة أنه تشبع التربة بالرطوبة لفترات طويلة.

وتتراوح تقديرات مساحات الأراضى التى تتعرض للغدق بنحو ١٢٪-١٦٪ على مستوى العالم، لكن يصعب تقدير تلك المساحات على وجه الدقة لأن حالات الغدق لا تستمر – غالبًا – إلا لفترات محدودة من العام (Jackson ٢٠١١).

يُعد غدق التربة حالة شدٍّ مركبة لأنها تسبب أضرارًا فيزيائية للنباتات وتزيد من فرصة إصابتها بالأمراض، وإذا غطى الماء النموات الحضرية فإنه يحجب عنها الضوء، فضلاً عن معاناة النباتات فى ظروف الغدق من نقص الأكسجين (حالة الـ hypoxia) أو انعدامه (حالة الـ anoxia)؛ مما يؤدى إلى خفض التنفس الهوائى أو منعه تمامًا.

تأثير غدق التربة على النمو النباتى

يؤدى غدق التربة (تشبعها بالرطوبة لفترات طويلة) إلى إحداث التأثيرات التالية:

١- نقص النمو النباتى الجذرى والقمى.

٢- اصفرار الأوراق السفلى للنبات.

٣- ظهور انحناء لأسفل epinasty واضح بأنصال الأوراق.

٤- تكون جذور عرضية فى بعض النباتات، كما فى الطماطم.

٥- ذبول الأوراق، مع إغلاق جزئى أو كلّى للثغور.

٦- نقص إنتاج المادة الجافة، وضَعف المحصول.

الأساس الفسيولوجى لأضرار الغدق على النباتات

يبلغ معدل انتشار الأكسجين فى الماء ٠,٠١٪ من معدل انتشاره فى الهواء؛ ولذا ينخفض – كثيرًا – معدل توفر الأكسجين للجذور فى الأراضى الغدقة. ويتوفر الهواء فى نحو ١٠٪ - ٣٠٪ من المسافات البينية بين حبيبات التربة عند السعة الحقلية، ولكن هذه النسبة تنخفض – تدريجيًّا– بزيادة الرطوبة عن السعة الحقلية، إلى أن ينعدم الهواء تمامًا عندما تكون التربة مشبعة بالماء، وهى التى تعرف بالتربة الغدقة flooded أو التربة "المطبّلة" Water Logged، وهى التى يرتفع فيها مستوى الماء الأرضى.

إن السبب الأساسى لجميع الأعراض التى يحدثها غدق التربة فى النباتات هو سرعة نفاذ الأوكسجين الموجود فى التربة (سواء منه المحتجز ضمن الهواء فى المسافات الضيقة بين حبيبات التربة، أم الذائب فى الماء)؛ وذلك بسبب تنفس جذور النباتات وكائنات التربة الدقيقة.

ونظرًا لصعوبة انتشار أوكسجين الهواء الجوى فى الأراضى الغدقة؛ لذا.. فإن تجديد أوكسجين التربة – فى هذه الظروف – لا يتم بالكفاءة اللازمة. ويترتب على ذلك إجبار الجذور على أن تتحول من التنفس الهوائى إلى التنفس اللاهوائى؛ الأمر الذى يؤدى إلى اختلال النشاط الأيضى، ونقص إنتاج الـ ATP، مع تراكم نواتج التنفس اللاهوائى السامة، وسرعة استهلاك المركبات العضوية.

ويؤدى نقص الطاقة الميسرة للجذور إلى نقص امتصاص الماء والعناصر الغذائية وانتقالها فى النبات. كما يؤثر اختلال النشاط الأيضى فى الجذور – سلبيًّا – على التوازن الهرمونى فى النمو القمى، وعلى تمثيل الجبريللينات والسيتوكينينات وانتقالها فى الجذور. كذلك يزيد تركيز الأكسجين فى سيقان النباتات؛ نتيجة لعدم انتقاله إلى الجذور، أو بسبب تثبيط نشاط إنزيم IAA-oxidase فى السيقان.

ويتبين من دراسات Bolton & Erickson (١٩٧٠) – على الطماطم – أن تعريض

النباتات للغدق يؤدى إلى زيادة تركيز الكحول الإيثيلى فى أوعية الخشب، وأن تركيز الكحول كان متناسبًا مع شدة النقص فى الأكسجين الذى تتعرض له الجذور من جرّاء الغدق.

ولقد تأثر امتصاص جذور الخيار للماء فى المزارع المائية — كثيرًا بتركيز الأكسجين الذائب فى المحلول المغذى؛ ففى تركيزات ٠,٠١، و٠,١، و٠,٢ مللى مول من الأكسجين (تحت ظروف بيئية موحَّدة: ٢٥°م، و٧٠٪ رطوبة نسبية، وإضاءة ١٢ ساعة) كان امتصاص النباتات اليومى من الماء ١٦٤، و١٨٦، و٢٣٥ جرامًا، على التوالى. ويبدو أن انخفاض امتصاص الجذور للماء عند نقص تركيز الأكسجين الذائب كان مرده إلى تأثير نقص الأكسجين على عمليات التنفس التى تعتمد عليه. وتجدر الإشارة إلى أن امتصاص الماء ازداد بشدة تحت ظروف الإضاءة، مقارنة بالامتصاص فى الظلام، وذلك فى جميع تركيزات الأكسجين فى المحلول المغذى (Yoshida وآخرون ١٩٩٦).

وتبين من دراسات Bradford & Dilley (١٩٧٨) — على الطماطم — أن التأثير الأولى والأساسى للغدق هو حجب الأكسجين عن الجذور؛ الأمر الذى يكون كافيًا لزيادة إنتاج الإثيلين فى النموات الخضرية. وقد أدت معاملة النباتات بنترات الفضة — وهى مثبط لفعل الإثيلين — قبل تعريضها للغدق إلى منع ظهور حالة التواء أعناق الأوراق إلى أسفل تمامًا؛ الأمر الذى يبرهن على أن الإثيلين هو المسئول عن الأعراض التى تظهر عند تعرض النباتات لحالة الغدق.

إن أول ما يصاحب الأعراض التى يسببها غدق التربة زيادة فى إنتاج الإثيلين فى سيقان وأوراق النباتات.

وربما يرجع التضخم الذى يلاحظ أحيانًا بقواعد السيقان وتكوّن الجذور العرضية إلى الإثيلين. كما لوحظ أن البرولين proline الحر (غير البروتينى) يزداد تركيزه فى النباتات المعرضة لظروف الغدق (Kuo & Chen ١٩٨٠).

وأهم ما يميز النباتات التى تعانى ارتفاع منسوب الماء الأرضى هو اتجاه نمو أعناق الأوراق لأسفل، وهى الحالة المعروفة باسم epinasty. وترجع هذه الظاهرة إلى زيادة نمو الخلايا على السطح العلوى لأعناق الأوراق، عنه على السطح السفلى. وهذه الظاهرة لا تكون مصاحبة بذبول النباتات؛ لأنها — أساسًا — ظاهرة نمو يلزم معها أن تكون الخلايا منتفخة turgid وطبيعية.

ومن المعروف أن تعرض النباتات للإثيلين يُحْدِثُ أعراض الـ epinasty، حتى لو كان التعرض لتركيزات منخفضة جدًا. وقد أوضحت الدراسات أن مستوى الإثيلين فى النباتات التى تعانى من ارتفاع منسوب الماء الأرضى يزيد عما هو فى النباتات التى تنمو فى ظروف طبيعية. كذلك وجد أن مثبطات فعل الإثيلين (مثل أيونات الفضة، ومشتقات البنزوثياديازول benzothiadizol) تمنع حدوث الـ epinasty عند التعرض للغدق. وقد لوحظ أن معاملة نباتات الطماطم بالإثيفون ethephon مع ماء الرى قد أحدثت تأثيرًا مماثلاً لتأثير الغدق (Bradford & Yang ١٩٨١).

ويستدل من دراسات Singh وآخرين (١٩٩١) — على الفاصوليا — على أن تعريض النباتات للغدق — ولو لمدة يوم واحد — يقلل معدل البناء الضوئى، وينقص الوزن الجاف للنبات، ويتوقف مدى الانخفاض فيهما على مدة التعرض للغدق.

وتعد الزيادة الكبيرة فى تركيز الإثيلين من أبرز التغيرات الهرمونية التى تحدث فى النباتات تحت ظروف الغدق. وقد تبين أن تركيز مركب 1-aminocycloprpane carboxylic acid (يكتب اختصارًا: ACC) يزيد فى الطماطم تحت ظروف الغدق، وهو الذى يتحول فى النباتات إلى إثيلين، بينما يقل أو يثبَّط تحوله إلى إثيلين فى الظروف الهوائية. لذا.. يعتقد أنه يتراكم فى الجذور تحت ظروف الغدق، ثم ينتقل إلى النموات الخضرية (التى يتوفر لها الأكسجين)، ليتحول فيها إلى إثيلين. ويعد الإثيلين هو المسئول عن اتجاه أعناق الأوراق إلى أسفل تحت ظروف الغدق.

كذلك يؤدى التنفس اللاهوائى إلى زيادة تركيز بعض العناصر – مثل الحديد والمنجنيز – إلى مستويات سامة (بسبب خفض التنفس اللاهوائى لـ pH التربة)، وتراكم بعض الأحماض العضوية (مثل حامض الخليك، والبروبيونيك، والبيوتيرك)، والمركبات الفينولية. (مثل الـ para-hydroxybenzoic، والـ para-cumaric)، والغازات (مثل ثانى أكسيد الكربون، والإثيلين، والميثان، وكبريتيد الأيدروجين) إلى مستويات ضارة بالنمو النباتى.

ويؤدى التنفس اللاهوائى إلى عدم توفر الطاقة اللازمة لاستمرار بقاء الأغشية الخلوية بصورة طبيعية؛ الأمر الذى يفقدها بعض خصائصها الهامة للنبات.

وتنشط فى الأراضى الغدقة عمليات تحول الآزوت العضوى (الموجود فى المادة العضوية والذى يعتمد عليه النبات كمصدر للنيتروجين) إلى الصورة الغازية، فيما يعرف بالـ denitrification، كما تغسل وتفقد النترات من التربة بسبب كثرة محتواها الرطوبى؛ ويترتب على ذلك افتقار النباتات إلى النيتروجين وظهور أعراض نقصه (عن Krizek ١٩٨٢).

خصائص النباتات التى تتحمل النمو فى الأراضى الغدقة

من أهم الخصائص التى تتميز بها النباتات التى يمكنها النمو فى ظروف نقص الأكسجين فى الأراضى الغدقة ما يلى:

١- زيادة المسافات البينية فى نسيج القشرة، لتكون بمثابة قنوات بامتداد الجذور، تسمح بمرور الغازات بينها وبين النموات الخضرية للنبات. وتعرف الخلايا البرانشيمية التى توجد فى المسارات الهوائية باسم البرانشيمات الهوائية Aerenchyma. تظهر تلك المسافات الهوائية – بوضوح – فى الأرز، والسراخس، وعديد من النباتات المائية، كما تظهر فى النباتات التى تتحمل الغدق من القمح، والشعير، والذرة، ودوار الشمس، والطماطم. وفى كثير من الحالات توفر هذه القنوات

الهوائية كل احتياجات الجذور من الأكسجين، بالإضافة إلى بعض احتياجات الكائنات الدقيقة – التى تعيش حول الجذور – من الغاز.

ويعتقد أن نسيج الـ Aeremchyma (الخلايا البرانشيمية المحيطة بالمسارات والفراغات الهوائية الكبيرة فى القشرة) يتكون عند انهيار بعض خلايا القشرة؛ بسبب عدم كفاية الطاقة التى تصل إليها تحت ظروف التنفس اللاهوائى. كما اقترح أن الإثيلين – الذى يتراكم فى الظروف اللاهوائية – يؤدى إلى زيادة نشاط إنزيم السليوليز Cellulase؛ الذى يؤدى – بدوره – إلى تفكك الخلايا عن بعضها وظهور الفجوات الهوائية.

٢- تكوين جذور عرضية قريبة من سطح التربة؛ حيث يقل النقص فى الأكسجين، أو يكون تعويض النقص الذى يحدث فى الغاز سريعًا. يحدث ذلك فى عديد من النباتات؛ منها الطماطم ودوار الشمس.

٣- سيادة المجموع الجذرى السطحى مقارنة بالمجموع الجذرى المتعمق فى التربة.

٤- وجود عوائق أمام الفقد المحيطى للأكسجين من خلايا الجذر البرانشيمية؛ ذلك لأنه تحت ظروف الغدق ينتقل الأكسجين من قاعدة الساق إلى القمة النامية للجذر خلال خلايا الجذر البرانشيمية، إلا أن جزءًا كبيرًا من هذا الأكسجين يفقد – غالبًا – من محيط الجذر قبل وصوله إلى القمة النامية، ويؤدى وجود تلك العوائق إلى منع ظاهرة تسرب الأكسجين (Mano & Omori ٢٠٠٧).

٥- تحمل السموم (مثل الـ Fe^{2+} والـ H_2S) التى تتكون تحت ظروف نقص الأكسجين.

٦- اللجوء إلى بدائل لمسارات التحويلات الكيميائية الحيوية – الخاصة بالتنفس– يقل فيها إنتاج الكحول الإثيلى. ومن أمثلة هذه البدائل تكوين الأحماض العضوية؛ مثل الماليك، والشيكميك Shickimic.

٧- زيادة كفاءة النباتات — مقارنة بالنباتات الحساسة للأراضى الغدقة — فى الاستفادة من النترات كمستقبل للإليكترونات (بدلاً من الأكسجين) فى حالات الغياب الجزئى للأكسجين؛ حيث يلاحظ زيادة واضحة فى نشاط إنزيم nitrate reductase فى جذور وأوراق النباتات التى تتحمل الأراضى الغدقة خلال فترات تشبع التربة بالرطوبة.

٨- كذلك تزيد كفاءة النباتات التى تتحمل الأراضى الغدقة فى تمثيل الأحماض الأمينية تحت هذه الظروف؛ الأمر الذى يسمح بإعادة أكسدة الـ $NADH_2$ تحت ظروف غياب الأكسجين إلى DH_2 (عن Krizek ١٩٨٢).

تأثير غدق التربة على بعض محاصيل الخضر

الطماطم

تظهر على الطماطم النامية فى الأراضى الغدقة (وهى الأراضى التى يرتفع فيها مستوى الماء الأرضى إلى القرب من سطح التربة، والأراضى التى تزيد فيها الرطوبة إلى مستوى التشبع لفترة طويلة) أعراض مميزة، من أهمها ما يلى:

١- نمو جذور عرضية بكثرة.

٢- ضعف نمو الساق، وقلة استطالة الأوراق.

٣- اصفرار الأوراق السفلى.

٤- انحناء أنصال الأوراق لأسفل.

٥- ذبول الأوراق.

وتصاحب ذلك كله تغيرات داخلية فى النبات، من أهمها ما يلى:

١- تغيرات فى مستوى الجبريلينات Gibberrellins، والسيتوكينينات Cytokinins.

٢- زيادة مستوى الإثيلين بالنبات؛ وهو المسئول عن حالة ميل أنصال الأوراق لأسفل، وقد يكون له علاقة بنمو الجذور العرضية أيضًا.

٣- زيادة مستوى الإيثانول Ethanol فى النبات.

٤- تراكم البرولين Proline غير البروتينى، بيد أن البرولين يرجع إلى مستواه الطبيعى بعد ١١ يومًا من عودة الرطوبة الأرضية إلى مستواها الطبيعى. ويتناسب تراكم البرولين فى النبات تناسبًا طرديًّا مع ذبول الأوراق فى الأصناف المختلفة، وبذلك يمكن استخدامه كدليل على مدى حساسية الأصناف، أو تحملها للأراضى الغدقة.

وقد أمكن إحداث بعض أعراض التعرض للمستوى المرتفع من الرطوبة الأرضية بِرَىِّ النباتات بمحلول مخفف من الإثيفون. ومن هذه الأعراض: اصفرار الأوراق، وميل أنصالها لأسفل، وضعف نمو الساق، ونمو جذور عرضية، إلا أنه لم يكن فى الإمكان إحداث أى من هذه الأعراض بالمعاملة بالإيثانول (Kuo & Chen ١٩٨٠، Aloni & Rosenshtein ١٩٨٢).

إن تَعَرُّض نباتات الطماطم لظروف الغدق يؤدى إلى نقص كل من نموها الخضرى، ووزنها الجاف، ومساحة أوراقها، ومحصولها. كذلك تُكَوِّنُ النباتات فى هذه الظروف جذورًا عرضية جديدة تلعب دورًا هامًّا فى زيادة قدرتها على البقاء والاستمرار فى النمو. وقد وجد Poysa وآخرون (١٩٨٧) أن الجذور العرضية التى كونتها النباتات فى ظروف التعرض الدائم للغدق شكّلت ٥٠٪ من نموها الجذرى، بينما كان نمو الجذور العرضية محدودًا فى النباتات التى تعرضت لظروف الغدق بصورة متقطعة.

وقد وجد Basiouny وآخرون (١٩٩٤) أن تعريض نباتات الطماطم لإضاءة منخفضة (٦٠٠ ميكرومول/ م٢ / ثانية من الأشعة النشطة فى عملية البناء الضوئى)، أو لظروف الغدق (شد رطوبى قدره ٠,٠٠١ ميجاباسكال) أدى إلى زيادة محتواها من كل من حامض الأبسيسك، والإثيلين، ونقص محتواها من الكربوهيدرات والكلوروفيل.

وتنتج نباتات الطماطم هرمون الإثيلين لدى تعرضها لمختلف ظروف الشدّ البيئى. وقد تبين أن ظروف غدق التربة — التى يقل معها الأكسجين فى بيئة الجذور تؤدى إلى

زيادة إنتاج المركب 1-aminocyclopropane-1-1carboxylate (اختصارًا ACC) فى الجذور — وهو المركب البادئ للإثيلين — بسبب تحفيز ظروف الغدق لنشاط الإنزيم ACC synthase المسئول عن تكوين الـ ACC. وقد وجد Olson وآخرون (١٩٩٥) أن ظروف الغدق تحفز نشاط الجين Le-acs3 المسئول عن تكوين الإنزيم ACC synthase فى الطماطم.

وقد أدى تعريض نباتات الطماطم لظروف التشبع الرطوبى التام لمدة ٧٢ ساعة إلى زيادة الجهد المائى للأوراق Leaf Water Potential، ومحتواها من البرولين، مع زيادة فى نشاط إنزيم نيتريت ردكيتز Nitrate Rductase، فى حين أدت المعاملة إلى نقص محتوى الأوراق من الكلوروفيل، وذلك مقارنة بمعاملة الشاهد (Dell'Amico وآخرون ١٩٩٤).

وأدى غدق التربة إلى زيادة نشاط الإنزيم 1-aminocyclopropane-1carboxylic acid oxidase (اختصارًا ACC oxidase) فى أعناق أوراق الطماطم، وذلك فى خلال ٦–١٢ ساعة، مع زيادة فى معدل إنتاج الإثيلين إلى مستويات نشطة فسيولوجيًّا (English وآخرون ١٩٩٥).

كما أدى تعرض الطماطم لظروف الغدق إلى زيادة التسرب الأيونى منها، وكذلك زيادة أكسدة الدهون ومحتوى الأنسجة من فوق أكسيد الأيدروجين، بينما انخفض المحتوى الكلوروفيلى للأوراق. وقد بدا أن شدّ الأكسدة — فى ظروف الغدق — يلعب دورًا جوهريًّا فى شيخوخة الأوراق (Ahsan وآخرون ٢٠٠٧).

البسلة

يؤدى تعرض نباتات البسلة لظروف الغدق إلى زيادة محتواها من حامض الأبسيسيك ABA بمقدار ٨ أضعاف، ويحدث ذلك نتيجة لذبول الأوراق المسنة فى هذه الظروف، كما أن حامض الأبسيسيك الذى تنتجه الأوراق المسنة فى هذه الظروف ربما

يعمل على حماية الأوراق الحديثة من الذبول (Zhang & Zhang ١٩٩٤).

اللوبيا

توجد اختلافات وراثية بين أصناف وسلالات اللوبيا فى قدرة نباتاتها على تحمل غدق التربة، علمًا بأن السلالات الأكثر تحملاً لاستمرار زيادة الرطوبة الأرضية تكون أكثر قدرة على إنتاج الجذور الثانوية، وتزداد فى جذورها الخلايا البرانشيمية ذات المسافات البينية الوسعة (الـ aerenchyma) التى تزيد من سرعة حركة الغازات فى أنسجة الجذر (Teakele & McDavid ١٩٩٤).

وقد أوضح Umaharan وآخرون (١٩٩٧) أن تعريض نباتات اللوبيا لفترات قصيرة من الغدق أثر سلبيًّا — بدرجة عالية — على النمو الخضرى والمحصول عندما كان التعرض للغدق قبل مرحلة الإزهار؛ أما بعد ذلك.. فإن التعرض للغدق أثر سلبيًّا على المحصول فقط، وقد اختلفت الأصناف فى مدى تأثرها بالغدق وتحملها له.

الأسبرجس

يؤدى غدق التربة إلى عدم توفر الأكسجين للأنسجة الإنشائية (الميرستيمية) فى البراعم التى توجد بالتاج، وفى القمم النامية للجذور، مما يؤدى إلى موت تلك الأنسجة، حيث تموت تلك الأكثر حساسية لنقص الأكسجين أولاً — وهى عناقيد البراعم — ثم القمم النامية للجذور، وأخيرًا البراعم الكامنة latent buds التى توجد بالريزوم.

مراجع فى غدق التربة وتأثيراته

- Jackson (٢٠٠٧): مرجع فى تأثير غدق التربة على النباتات.
- Parent وآخرون (٢٠٠٨): الاستجابات النباتية لغدق التربة.

الفصل السادس

شدّ الإشعاع الشمسى والفترة الضوئية

تقسيم النباتات حسب شدة الإضاءة المناسبة لها

تقسم النباتات حسب شدة الإضاءة المناسبة لها إلى مجموعتين؛ هما:

١- نباتات الضوء Heliophytes: وهى التى تنمو أحسن ما يمكن فى ضوء الشمس الكامل، وتشتمل على معظم نباتات الخضر.

٢- نباتات الظل Sciophytes: وهى التى تنمو أحسن ما يمكن فى شدة إضاءة تبلغ حوالى ١٠٪ من ضوء الشمس، وتشتمل على عيش الغراب، وعدد كبير من نباتات الزينة.

تكمن أحد الفروق الرئيسية بين نباتات الشمس ونباتات الظل فى البلاستيدات الخضراء؛ حيث تتميز نباتات الظل باحتواء بلاستيداتها على جرانات grana كبيرة غير منتظمة التوجُّه، ومحملة بنحو ١٠٠ ثيلاكويدة thylakoids فى كل منها. كما تُوجَد بنباتات الظل نسبة أعلى من الجرانات المكونة للـ lamellae، ونسبة أعلى من أغشية الثيلاكويدات إلى الاستروما stroma؛ بما يعنى زيادة المحتوى الكلوروفيلى فى وحدة المساحة الورقية، ووجود نسبة أقل من البلاستيدات الخضراء بوحدة المساحة من الورقة فى نباتات الظل مقارنة بنباتات الشمس.

وبالمقارنة.. تكون الجرانا فى البلاستيدات الخضراء لنباتات الشمس مصطفة بمحاذاة أحد محاورها، وبها نسبة أقل من الجرانات المكونة للـ lamellae، ونسبة أقل من أغشية الثيلاكويدات إلى الاستروما. ولكن تزداد أعداد الثيلاكويدات وتزداد نسبتها إلى الاستروما فى نباتات الشمس لدى نموها فى إضاءة منخفضة.

كذلك يختلف تركيز الكلوروفيل ونسبة كلوروفيل "أ" إلى كلوروفيل "ب" فى

كلوروبلاستيدات نباتات الظل عنها فى نباتات الشمس. وتتوقف كفاءة النباتات فى امتصاص الضوء على كمية الكلوروفيل بوحدة المساحة من الورقة، وهى التى تبقى ثابتة فى مدى واسع من شدة الإضاءة بالنسبة للنوع النباتى الواحد. ويؤدى التظليل الشديد إلى خفض تركيز الكلوروفيل فى أوراق نباتات الشمس، وخاصة فى الأوراق الحديثة النامية، بينما قد تحتوى نباتات الظل الإجبارية على كمية من الكلوروفيل — تحت ظروف الظل الشديد — تعادل تلك التى توجد فى نباتات الشمس فى الإضاءة القوية.

ويزداد تركيز كلوروفيل "ب" - فى ظروف الإضاءة الضعيفة — فى معظم النباتات سواء أكانت من نباتات الظل، أم من نباتات الشمس. ويساعد ذلك التغيير على زيادة الاستفادة من الموجات الضوئية "المُرشَّحة" التى تكون أغنى فى الأشعة تحت الحمراء. كما أن نباتات الظل تحتوى — عادة — على نسبة من كلوروفيل "أ" إلى كلوروفيل "ب" أقل مما فى نباتات الشمس؛ الأمر الذى يجعلها أكثر قدرة على الاستفادة من الأشعة تحت الحمراء التى تنفذ من خلال النمو النباتى.

وبالمقارنة بنباتات الشمس.. تحتوى نباتات الظل على نسبة أقل من البروتين لكل وحدة كلوروفيل، ولكل وحدة من المساحة الورقية. ويرجع النقص البروتينى أساسًا إلى نقص كمية إنزيم ribulose biphosphate carboxylase والإنزيمات الأخرى الداخلة فى أيض الكربون فى عملية البناء الضوئى.

التأقلم على شدة الإضاءة

إن قدرة نباتات الظل على التأقلم مع الإضاءة القوية محدودة؛ وهى تتعرض — عادة — لأضرار شديدة أو تموت فى الإضاءة القوية. أما نباتات الشمس فإن كفاءتها فى عملية البناء الضوئى تزداد فى ظروف الإضاءة العالية؛ نتيجة لقدرتها على التأقلم مع هذه الظروف؛ وذلك بحدوث تغيرات فيها تتمثل فى: زيادة مستوى إنزيمات أيض الكربون، وزيادة تركيز سلسلة المركبات الناقلة للإليكترونات فى عملية البناء الضوئى، وزيادة القدرة على نقل غاز ثانى أكسيد الكربون.

كذلك يحدث التأقلم مع الإضاءة القوية فى نباتات الشمس بزيادة السيوبرين، والشمع، والأديم، ومكونات الجدر الخلوية بالأوراق.. وجميعها عوامل تفيد فى زيادة انعكاس الضوء.

وتعمل النباتات على تقليل التحطيم الضوئى للكلوروفيل photodestruction بزيادة محتوى أوراقها من البيتاكاروتين، والزانثوفيل، والفوسفوليبيدات.

أما تأقلم النباتات مع الإضاءة الضعيفة فإنه يتم بوسيلتين؛ كما يلى:

١- زيادة المساحة الورقية بطريقة تحدُّ من استعمال الغذاء المجهز؛ لأنها — أى زيادة المساحة الورقية — تكون على حساب انتقال الغذاء المُصنّع إلى أعضاء التخزين.

٢- نقص كمية الضوء المعكوس reflected والنافذ transmitted؛ ذلك لأن الأوراق تكون أقل سمكًا ولكن أكبر مساحة مما فى ظروف الإضاءة القوية. ويزيد امتصاص الأوراق للضوء بزيادة أعداد البلاستيدات الخضراء فى وحدة المساحة الورقية منها، وبزيادة تركيز الكلوروفيل فيها، مع انخفاض تركيز الصبغات الأخرى التى تتعارض مع عملية امتصاص الضوء. كذلك يقل تحلل الكلوروفيل؛ مما يزيد تركيزه فى النبات.

تأثير شدة الإضاءة على البناء الضوئى

نجد فى المستويات المنخفضة من الإضاءة أن معدل البناء الضوئى يتناسب خطيًا مع شدة الإضاءة؛ حيث تكون الاستفادة من الضوء الساقط على النباتات عند حدها الأقصى. أما فى المستويات الأعلى من شدة الإضاءة فإن الزيادة فى البناء الضوئى تتناقص مع زيادة شدة الإضاءة إلى أن تتوقف الزيادة كليًا. وتتوقف استجابة النباتات للمستويات المختلفة من شدة الإضاءة على ما إن كانت من نباتات الظل، أم من نباتات الضوء.

تحتاج نباتات الضوء إلى مستويات أعلى من شدة الإضاءة للحفاظ على مستوى عالٍ من البناء الضوئى؛ وبذا.. فهى تُظهر معدلات منخفضة من البناء الضوئى فى المستويات المنخفضة من الإضاءة. وبالمقارنة.. فإن نباتات الظل تكون قادرة على البناء الضوئى بمعدلات عالية فى مستويات الإضاءة المنخفضة.

ويعرف مستوى الإضاءة الذى يتساوى عنده معدل البناء الضوئى مع مستوى التنفس باسم Compensation Point. ويكون هذا المستوى من الإضاءة فى نباتات الضوء أعلى منه فى نباتات الظل، وخاصة أن نباتات الضوء يزيد فيها معدل التنفس عنه فى نباتات الظل.

ويحدث التشبع الضوئى فى نباتات الظل بنحو ٥٪ من قوة الإضاءة خلال النهار (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

وفى الطماطم.. تستمر حياة الأوراق — عادة — لمدة ٧٠ يومًا ينخفض خلالها — تدريجيًا — معدل البناء الضوئى، وقد وجد أن ذلك لا يحدث — فى الزراعات التى تربى فيها النباتات رأسيًا — بسبب تقدم الأوراق فى العمر، وإنما يكون مرده — أساسًا — إلى انخفاض شدة الأشعة النشطة فى البناء الضوئى بين النموات النباتية الكثيفة (Trouwborst وآخرون ٢٠١١).

الموجات الضوئية النشطة فسيولوجيًا وتأثيراتها

يبين جدول (٦–١) خصائص مختلف الموجات الضوئية النشطة فسيولوجيًا، بينما يوضح جدول (٦–٢) تلك الأنشطة الفسيولوجية لكل من الموجات الضوئية.

جدول (٦–١): خصائص الموجات الضوئية النشطة فسيولوجيًا فى النباتات.

الأشعة	مدى الموجات الضوئية (nm)	الموجة الضوئية المُمثلة (nm)	التردد (دورة/ثانية) ($Hz\times10^{14}$)	الطاقة (eV/photon)	الكيلوكالورى لكل مول من الفوتونات
فوق البنفسجية	< ٤٠٠	٢٥٤	١١,٨٠	٤,٨٨	١١٢,٥
البنفسجية	٤٠٠–٤٢٥	٤١٠	٧,٣١	٣,٠٢	٦٩,٧
الزرقاء	٤٢٥–٤٩٠	٤٦٠	٦,٥٢	٢,٧٠	٦٢,٢
الخضراء	٤٩٠–٥٦٠	٥٢٠	٥,٧٧	٢,٣٩	٥٥,٠
الصفراء	٥٦٠–٥٨٥	٥٨٠	٥,١٧	٢,١٤	٤٩,٣
البرتقالية	٥٨٥–٦٤٠	٦٢٠	٤,٨٤	٢,٠٠	٤٦,٢
الحمراء	٦٤٠–٧٤٠	٦٨٠	٤,٤١	١,٨٢	٤٢,١
تحت الحمراء	> ٧٤٠	١٤٠٠	٢,١٤	٠,٨٨	٢٠,٤

جدول (٦-٢): النشاط الفسيولوجي - لمختلف الموجات الضوئية - فى النباتات.

العملية الضوئية	التفاعل أو الاستجابة	المركبات المستقبلة للضوء	الموجات الضوئية الفعالة (nm: peaks الـ)	تحولات الطاقة أو المنتجات
تمثيل الكلوروفيل	اختزال البروتوكلوروفيل	البروتوكلوروفيل	الأزرق : ٤٤٥ الأحمر: ٦٥٠	كلوروفيل أ كلوروفيل ب
البناء الضوئى	تحلل الماء	الكلوروفيل الكاروتينات	الأزرق: ٤٣٥ الأحمر: ٦٧٥	H مركبات مفسفرة
	اختزال الكربون	الكلوروفيل	الأحمر: ٦٥٠ تحت الأحمر: ٧١٠	مركبات مفسفرة
تفاعلات الضوء الأزرق	الانتحاء الضوئى	الكاروتينات	فوق البنفسجية: ٣٧٠	أكسدة الأوكسينات
	لزوجة البروتوبلازم	غير معروفة	غير مؤكدة	-
	تنشيط تفاعلات	النيكليوتيدات البريدينية الريبوفلافين	غير مؤكدة	-
تفاعلات الضوء الأحمر وتحت الأحمر	إنبات البذور	الفيتوكروم	الأحمر: ٦٦٠	-
	النمو	-	-	-
	تمثيل الأنثوسيانين	الفيتوكروم	تحت الأحمر: ٧١٠ و ٧٣٠	-
	استجابة الكلوروبلاستيدات	الفيتوكروم	تحت الأحمر: ٧١٠ و٧٣٠	-

كثافة الإشعاع الشمسى والعوامل المؤثرة فيه

إن كثافة الإشعاع الشمسى التى تصل إلى النباتات تخف كثيرًا، وتضعف خلال مرورها فى طبقات الغلاف الجوى.

فبداية.. نجد أن الإشعاع الشمسى الكامل - غير المرشح - تكون كثافته عند دخوله طبقة الأيونوسفير Ionosphere ١,٣٩ كيلو واط kW/ م٢ (وهو ثابت الشمس)، ويتراوح طول موجاته بين ٢٢٥ و ٣٢٠٠ نانوميتر nm (مللى ميكرون). ويكون ٤١٪ من هذا الإشعاع بين موجتى ٤٠٠، و٧٠٠ نانوميتر، وهى الموجات الضوئية التى تكون نشطة فسيولوجيًا فى النباتات.

وفى الاستراتوسفير stratosphere تمتص طبقة الأوزون ozone الأشعة فوق البنفسجية، بينما يمتص بخار الماء، وثانى أكسيد الكربون، والأكسجين - فى التروبوسفير Troposphere - الموجات الضوئية من ١١٠٠ إلى ٣٢٠٠ نانوميتر.

وعند مستوى سطح البحر يكون مدى الموجات الضوئية المتاح للنباتات من ٣١٠ إلى ١١٠٠ نانوميتر، ويكون ٤٦٪ من هذا الإشعاع بين موجتى ٤٠٠، و٧٠٠ نانوميتر (الضوء المرئى).

يتبين مما تقدم أنه لا يصل إلى سطح الأرض سوى ٤٧٪ من الإشعاع الكلى الصادر عن الشمس باتجاه الأرض، بينما يُفقد أكثر من نصف الإشعاع الكلى بالانكسار refraction، والانحراف diffraction فى طبقات الجو العليا. كما أن السُّحُب والجسيمات العالقة فى الهواء تعكس الإشعاع الشمسى، أو تشتته، أو تمتصه.

وفى منتصف النهار، يمكن أن تبلغ كمية الإشعاع الكلى - التى تتلقاها النباتات التى تنمو عند مستوى سطح البحر وخط عرض متوسط - حوالى ٩٠٠ واط W/م٢. وتتباين كمية الإشعاع الفعلية حسب كثافة السحب، وخط العرض، ومدى الارتفاع عن سطح البحر.

ولا تخف وتضعف حدة الإشعاع الشمسى بالظروف الجوية، وعند مرور الإشعاع فى طبقات الغلاف الجوى فقط، ولكنها تتأثر - كذلك - بالبيئة النباتية ذاتها. ففى مجتمع النباتات.. تُشكِّل الأوراق العليا - التى تقوم بعملية البناء الضوئى - حاجزًا أمام وصول الضوء إلى الأوراق السفلى. وتزداد الكمية الممتصة من الإشعاع الساقط - تدريجيًّا - أثناء مروره بين طبقات الأوراق إلى أن يستنفذ معظمه، ولا يكاد يصل منه شئ إلى الأوراق السفلى. ويتوقف مدى نفاذية الأوراق للضوء على تركيبها وسمكها؛ حيث يزداد مقدار الضوء النافذ من الأوراق كلما نقص سمكها.

وترتبط كمية ونوعية الضوء - التى تتاح لأوراق النباتات - بالكثافة النباتية،

وارتفاع النباتات، وشكل الأوراق؛ حيث تزداد كثافة الضوء التى تُتاح للأوراق النباتية عند انخفاض كثافة الزراعة، وقصر النباتات، وضيق أوراقها.

يمكن للنباتات أن تعكس الضوء الساقط عليها، أو تمتصه، أو تسمح بمروره خلالها، ويتوقف ذلك على طول الموجة الضوئية الساقطة، وتركيب الورقة، وزاوية ميلها. وتتوقف قدرة النبات على عكس الضوء الساقط عليه على سطح الورقة؛ حيث تزيد الشعيرات — مثلاً — من انعكاس الضوء.

يمكن للورقة أن تعكس ٧٠٪ من الأشعة تحت الحمراء، ومن ٦٪– ١٢٪ من الضوء المرئى، ولكنها لا تعكس سوى ٣٪ من الأشعة فوق البنفسجية. ويزيد انعكاس الضوء الأخضر — الذى يتراوح بين ١٠٪ و٢٠٪ – عن انعكاس كل من الضوء البرتقالى والأحمر الذى يكون فى حدود ٣٪–١٠٪.

ويُمتص الإشعاع الذى يخترق الورقة بأجسام ومكونات الورقة المختلفة. فنجد أن الأشعة فوق البنفسجية تُمتص كثيرًا بواسطة طبقة الشمع السطحى (الأديم)، والسيوبرين، والمركبات الفينولية التى توجد بالورقة. كما تمتص الصبغات الكلوروفيللية الضوء المرئى، ويتوقف مدى ذلك الامتصاص على كثافة الكلوروفيل. وتُمتص الأشعة تحت الحمراء التى يزيد طول موجاتها على ٧٠٠ نانوميتر — بسهولة — بواسطة النباتات (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

الأشعة غير المرئية وأهميتها

تختلف الأشعة غير المرئية عن الضوء الأبيض العادى، وأهم ما يصل منها إلى النباتات بجرعات محسوسة: الأشعة تحت الحمراء، والأشعة فوق البنفسجية.

الأشعة تحت الحمراء

تشكل الأشعة تحت الحمراء (الأشعة الحرارية) حوالى ٥١٪ من الأشعة الشمسية الإجمالية التى تصل إلى النباتات. وتلعب الأشعة القصيرة منها — التى لا يزيد طول

موجاتها على ٨٠٠ مللى ميكرون — دورًا فى عملية البناء الضوئى. أما الأشعة الطويلة الموجة منها فإن تأثيرها يقتصر على رفع درجة حرارة النبات.

الأشعة فوق البنفسجية

تشكل الأشعة فوق البنفسجية — وهى التى يقل طول موجاتها عن ٣٩٠ مللى ميكرون — نحو ٦٪-٧٪ من مجموع الأشعة الشمسية التى تصل إلى النباتات. تعد الأشعة ذات الموجات الضوئية الأقل من ٣٠٠ مللى ميكرون منها ضارة بالنباتات، لكن لا يصل إلى سطح الأرض منها إلا النذر اليسير؛ لامتصاصها من قِبَل طبقة الأوزون. أما الأشعة فوق البنفسجية التى يتراوح طول موجاتها بين ٣٠٠ و ٣٩٠ مللى ميكرون فإنها تخترق الغلاف الجوى وتصل إلى سطح الأرض، وتلعب دورًا هامًّا فى تكوين فيتامين "ج" فى أوراق النباتات، وفى المساعدة على تقسية النباتات، وزيادة قدرتها على تحمل الحرارة المنخفضة، كما تَحُول دون استطالة سيقان البادرات. كذلك تلعب هذه الأشعة دورًا فى تلوين الأوراق فى الخريف، وفى زيادة تركيز اللون فى بعض الثمار.

ونظرًا لأن الزجاج لا يسمح بنفاذ الأشعة فوق البنفسجية.. لذا نجد أن محتوى الخضروات المنتجة فى الصوبات الزجاجية من فيتامين "ج" يقل بمقدار ٣٠٪-٥٠٪ عن نظيرتها المنتجة فى الحقول المكشوفة أو فى الصوبات البلاستيكية التى تسمح بمرور ٧٠٪-٨٠٪ من هذه الأشعة (عن بوراس ١٩٨٥).

تُمتص الأشعة فوق البنفسجية فى النباتات بواسطة الكروموفورات Chromophores، التى تتضمن: الأحماض النووية، والبروتينات، وإندول حامض الخليك، وحامض الأبسيسك، والفلافوبروتينات. وربما يؤدى امتصاص الأحماض النووية للأشعة فوق البنفسجية إلى انحراف فى تمثيل البروتين، وإلى زيادة معدل حدوث الطفرات، وظهور التراكيب الكروموسومية غير العادية.

وقد يؤدى امتصاص الهرمونين: إندول حامض الخليك وحامض الأبسيسك للأشعة فوق البنفسجية إلى حدوث تغيرات فى تركيز كلٍ منهما؛ الأمر الذى يؤدى إلى عدم انتظام النمو. وقد يظهر ذلك فى صورة ضعف فى الإزهار، أو فقدان للسيادة القمية، أو سقوط للأوراق، أو تغيرات فى تركيز العناصر المغذية بالأنسجة النباتية.

وترتبط كفاءة النبات فى مقاومة أضرار الأشعة فوق البنفسجية بقدرته على إصلاح الضرر الذى تحدثه الأشعة للحامض النووى دى إن أى (الدنا)، كما ترتبط — أيضًا — بتمثيله لمركبات مثل الفلافانويدات flavanoids، والفلافونات flavones فى طبقة البشرة. كما يمكن للشمع السطحى بطبقة الأديم امتصاص قدر ضار من الأشعة فوق البنفسجية. ويؤدى تغيير اتجاه الورقة أو زيادة قدرتها على عكس الضوء إلى مزيد من الإفلات من التعرض لأضرار الأشعة فوق البنفسجية.

تأثير أشعة الشمس القوية على الثمار

إن تعرض ثمار الخضر لأشعة الشمس القوية المباشرة قبل الحصاد يمكن أن يتسبب فيما يلى:

١- ارتفاع حرارة لُب الثمار حتى ١٥ °م أعلى من حرارة الهواء المحيط بها؛ بما يعنى احتمال وصول حرارته حتى ٥٠ °م.

٢- قد يحدث تدرج حرارى كبير — يصل إلى ١٥ °م — ما بين الجزء المتعرض لأشعة الشمس من الثمرة والجزء المظلل منها.

٣- ترتفع حرارة الأجزاء الأكثر تلونًا من الثمار بدرجة أكبر من الارتفاع فى حرارة الأجزاء الأقل تلونًا؛ فيمكن أن تكون ثمار الطماطم الحمراء أعلى حرارة بمقدار ٤-٨ °م عن حرارة الثمار الخضراء فى نفس الظروف.

هذا.. ولا تحدث تلك التغيرات الحرارية إن لم تتعرض الثمار لأشعة الشمس بصورة مباشرة.

ولا تحدث تلك الزيادات فى درجة حرارة الأوراق التى تتعرض لنفس الظروف؛ وذلك لأنها تبرد بفعل النتح الذى لا يحدث فى الثمار بنفس مستوى النتح فى الأوراق. ولنفس السبب فإن الثمار الأكبر قطرًا ترتفع حرارتها بدرجة أكبر عن الارتفاع فى حرارة الثمار الأصغر.

إن تلك التأثيرات لأشعة الشمس القوية المباشرة على حرارة الثمار قد تؤدى إلى إصابتها بلسعة الشمس، وكلتاهما — الارتفاع فى درجة الحرارة والإصابة بلسعة الشمس — يترتب عليهما تغيرات فى خصائص الثمار، تتضمن ما يلى:

١- تباينات فى تلون الثمرة الواحدة.

٢- حدوث أضرار بجلد الثمرة.

٣- ظهور تباينات فى محتوى الأجزاء المختلفة من الثمرة فى كل من المادة الجافة، ومحتوى المواد الصلبة الذائبة، وحموضتها، ومحتواها من العناصر.

٤- حدوث تباينات فى مدى صلابة الثمرة.

٥- وجود تباينات فى معدل نضج الأجزاء المختلفة من الثمرة (Woolf & Ferguson ٢٠٠٠).

تأثير الإشعاع الشمسى على بعض محاصيل الخضر

الطماطم

يصاحب الإضاءة الضعيفة — غالبًا — ظهور انشقاق فى المخروط السدائى، مع تضخم وتضاعف fasciation فى قلم الزهرة، وتلك عوامل تؤدى إلى ضعف عقد الثمار.

وقد أدى خفض الإشعاع الشمسى الساقط على النباتات بنسبة ٥٠٪ بفعل التظليل إلى خفض محتوى ثمار صنفين من الطماطم من كل من السكريات (الجلوكوز والفراكتوز) حتى ١٣٪، والبيتاكاروتين حتى ١٦٪؛ وذلك بسبب خفض التظليل لمعدل البناء الضوئى؛ الأمر الذى ربما يفسر — كذلك — انخفاض تمثيل المركبات المتطايرة. هذا.. إلا

أن عديدًا من المركبات المتطايرة، مثل: (Z)-3-hexenal,3-methylbutanol، و 6-methyl-5-hepten-2-one ازدادت بفعل التظليل. وأدى التطعيم على الأصل Brigeor إلى خفض كل من المحصول وعدد الثمار. وقد انخفض معدل البناء الضوئى فى أوراق الطماطم المظللة، وكذلك تركيز سكر الثمار بنسبة وصلت إلى ١٢٪. كما أدى تطعيم الصنف Classy على الأصل Brigeor إلى خفض الكاروتينات بنسبة ٨٪؛ مما أدى إلى خفض تركيز ثلاثة مركبات متطايرة تُشتق من الكاروتينات، وهى: الـ geranylacetone، والـ β-cyclocitral، والـ β-ionone. هذا.. بينما ازدادت الحموضة المعايرة بنسبة ٩٪ بفعل التظليل وبنسبة ٦٪ بفعل التطعيم. كذلك ازدادت المركبات المتطايرة المشتقة من اللجنين مثل الـ methylsalicylate، والـ guaiacol. هذا.. إلاّ أن التطعيم لم يكن قادرًا على التغلب على النقص الذى حدث بفعل التظليل فى تركيز البيتاكاروتين والسكريات وخمس مركبات متطايرة فى الثمار (Krumbein & Schwarz ٢٠١٣).

كذلك وجد أن تعريض نباتات الطماطم لقدر إضافى من الأشعة فوق البنفسجية UV-B– يحاكى ما يحدث عند تآكل طبقة الأوزون بمقدار ٢٠٪ – أن ذلك يُسرع من نضج الثمار مقارنة بما يحدث فى ثمار الكنترول، مع حدوث نقص فى حجم الثمار الناضجة. ولم يلاحظ أى تأثيرات جوهرية للأشعة فوق البنفسجية على الكتلة البيولوجية، أو تطور نمو الورقة أو الإزهار أو الإنتاجية (Bacci وآخرون ١٩٩٩).

الخيار

تؤثر شدة الإضاءة التى تتعرض لها ثمار الخيار قبل حصادها تأثيرًا بالغًا على محتواها من الكلوروفيل؛ ومن ثم على سرعة فقدها للونها الأخضر، وقدرتها على التخزين بعد الحصاد (Lin & Jolliffe ١٩٩٦).

كذلك تؤثر الأشعة فوق البنفسجية بى UV-B Radiation على نباتات الخيار من عدة وجوه؛ حيث أدت زيادة شدتها من ٠,٢ إلى ١٥ كيلوجول kJ/م^{2} يوميًا إلى نقص

النمو الخضرى بنسبة ٤٨٪، والنمو الجذرى بنسبة ٦٣٪، والمساحة الورقية الكلية بنسبة ٣٨٪، والمساحة الورقية الخاصة Specific Leaf Area بنسبة ٢٢٪. وأدت معاملة المحاليل المغذية للمزارع المائية التى تنمو فيها النباتات بالبوترسين Putresine (كبولى أمين Polyamine) بتركيز ٥٠٠ ميكرومولاً إلى زيادة المساحة الورقية الكلية، والوزن الجاف للنمو الخضرى، ولكنها لم تؤثر على الوزن الجاف للجذور، أو المساحة الورقية الخاصة، كما لم تؤثر فى اصفرار الأوراق الذى تحدثه معاملة التعرض للأشعة فوق البنفسجية بى (Krizek وآخرون ١٩٩٧).

وتزداد حساسية نباتات الخيار للأشعة فوق البنفسجية بى بزيادة معدلات التسميد الآزوتى. ففى النباتات التى كان محتواها من النيتروجين أقل من ٣٪ أدت المعاملة بتلك الأشعة إلى إحداث زيادة جوهرية — بنسبة ٧٢٪ — فى المركبات المدمصة للأشعة فوق البنفسجية بى؛ مما يعنى أن تخفيض معدلات التسميد الآزوتى يمكن أن يفيد فى تجنب نباتات الخيار أضرار الأشعة فوق البنفسجية (Hunt & McNeil ١٩٩٨).

وقد أدى تعريض بادرات الخيار للضوء الأزرق بشدةٍ قدرها: 30 umol m^{-2} s^{-1} PPF لمدة خمس دقائق قبل التعرض للضوء العادى مباشرة — يوميًا — لمدة ١٣ يومًا.. أدى ذلك إلى زيادة توصيل الثغور، وزيادة معدلات النتح وزيادة البناء الضوئى بمقدار ٦٠٪، وزيادة الوزن الطازج والجاف للأوراق، والمساحة الورقية، وقطر الساق وطوله، مقارنة بنباتات المقارنة التى لم تعط معاملة التعريض للضوء الأزرق وكان التعريض للضوء الأزرق لمدة ٥ دقائق يوميًا أكثر تأثيرًا من التعريض لمدة ٣٠ أو ١٢٠ دقيقة.

الكنتالوب

يؤدى تعرض ثمار شهد العسل لضوء الشمس المباشر إلى تغير لون سطحها العلوى إلى اللون الأصفر، وتزداد شدة الاصفرار بزيادة شدة تعرضها للإشعاع، وهى الظاهرة التى تعرف باسم الاصفرار الشمسى Solar Yellowing. وعلى الرغم من أن زيادة شدة هذه الظاهرة يعد أمرًا غير مرغوب فيه، إلا أنه توجد علاقة عكسية بين شدة الاصفرار

الشمسى، وحساسية الثمار للحرارة المنخفضة ٢,٥ °م (Lipton وآخرون ١٩٨٧).

ويتأثر محتوى ثمار الكنتالوب من السكر كثيرًا بالظروف البيئية السائدة خلال الأسبوعين السابقين للحصاد. وقد وجد أن إنتاج ثمار الكنتالوب من كل من الأسيتالدهيد والكحول الإيثيلى – الذى يكون بطيئًا عند نضج الثمار فى الظروف العادية – يزداد لدى تعرض النباتات للتظليل لمدة خمسة أيام خلال فترة الخمسة عشر يومًا التى تسبق النضج، كذلك أدى تظليل النباتات إلى نقص محتوى الثمار من السكر، واكتساب لُبهَا مظهرًا مبتلاً (Nishizawa وآخرون ١٩٩٨).

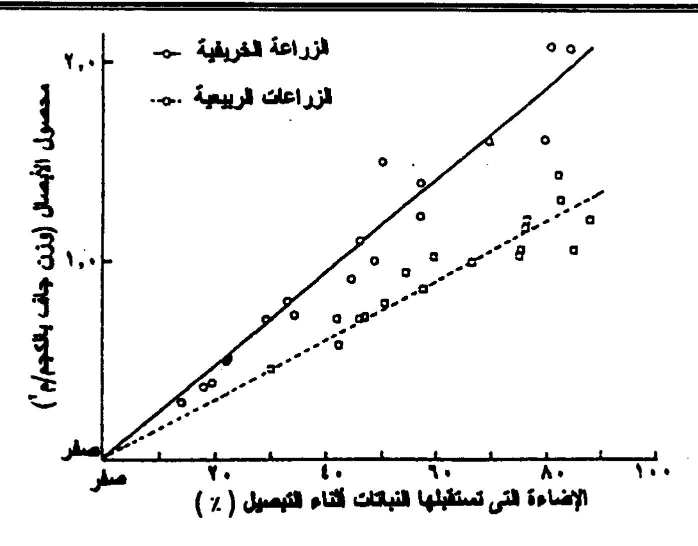
وتجدر الإشارة إلى أن ظاهرة تراكم الأسيتالدهيد والكحول الإيثيلى تزداد – كذلك– فى ثمار الكنتالوب المُطَعَّم على أصول من جنس *Cucubita*، وتكون مصاحبة بالنضج المبكر للثمار، وليونة لب الثمرة واتخاذه مظهرًا مائيًّا، ويعد ذلك من العيوب الفسيولوجية الشائعة فى اليابان (عن Nishizawa وآخرون ١٩٩٨).

البصل

وجد أن معدل النمو النسبى Relative Growth Rate والكفاءة التمثيلية Net Assimilation Rate يزدادان، بينما تنخفض نسبة المساحة الورقية Leaf Area Ratio، ونسبة وزن الورقة Leaf Weigh Ratio، والمساحة الورقية الخاصة Specific Leaf Area بزيادة شدة الإضاءة. ومع انخفاض شدة الإضاءة تزداد نسبة طول نصل الورقة إلى عرضها. ولذا .. فإن استمرار النمو تحت ظروف المنافسة يقلل معدل النمو مع نقص شدة الإضاءة.

ويتوقف المحصول المنتج – بشدة – على نسبة الإشعاع الشمسى الذى تستقبله النموات الخضرية عند تكوين الأبصال (شكل ٦–١). ويعبر عن العلاقة بين دليل المساحة الورقية Leat Area Index (اختصارًا: LAI)– وهى المساحة الورقية لكل وحدة مساحة من الحقل – ونسبة الإشعاع الشمسى الذى تستقبله النموات الخضرية (% I) بالمعادلة التالية:

$$I\% = 85.4 - 85.4\ [\exp(-0.377)]$$



شكل (٦-١): العلاقة بين نسبة الإشعاع الشمسى الذى تستقبله نباتات البصل- فى مرحلة تكوين الأبصال - والمحصول- معبرًا عنه بالوزن الجاف للأبصال - وذلك تحت ظروف توفر الرطوبة الأرضية والتسميد الجيد فى الزراعتين الخريفية والربيعية فى ولسيزبورن Wellesbourne بالمملكة المتحدة (عن Brewster ١٩٩٤).

وباستعمال هذه المعادلة يمكننا حساب دليل المساحة الورقية الذى يلزم لتحقيق معدل استقبال عالٍ للإشعاع الشمسى، فمثلاً.. يتطلب استقبال ٦٠٪ من الأشعة الساقطة دليلاً للمساحة الورقية قدره ٣,٢. وإذا افترضنا أن نمو النباتات يستمر لوغاريتميًّا تقريبًا إلى حين الوصول إلى دليل المساحة الورقية المطلوب، فإنه يمكننا حساب الوقت الحرارى thermal time– على صورة أيام حرارية متجمعة بين ٦ و ٢٠°م — الذى يلزم للوصول إلى دليل المساحة الورقية المرغوب فيه — عند كثافة نباتية معينة — بالمعادلة التالية:

$$DD = (\log_e (LAI \times 10^4/P) - \log_e 0.5) /0.0108$$

ويستدل من المعادلة الأخيرة أنه يلزم ٦٤٥ يومًا حراريًّا للوصول إلى مرحلة دليل مساحة ورقية مقدارها ٣,٢ فى كثافة نباتية مقدارها ٦٠ نباتًا/م٢.

الفاصوليا

أدى تعريض نباتات الفاصوليا للأشعة فوق البنفسجية بى UV-B — وهى التى تتراوح أطوال موجاتها بين ٢٨٠، و٣٢٠ نانوميتر — أدى إلى نقص النمو النباتى بنسبة الثلث تقريبًا، ونقص محصول القرون الخضراء بنسبة ٥٥٪، بينما لم تحدث تأثيرات مماثلة عندما تعرضت النباتات للأشعة فوق البنفسجية أى UV-A (Saile-Mark & Tevini ١٩٩٧، و Antonelli وآخرون ١٩٩٧).

الفترة الضوئية والعوامل المؤثرة فيها

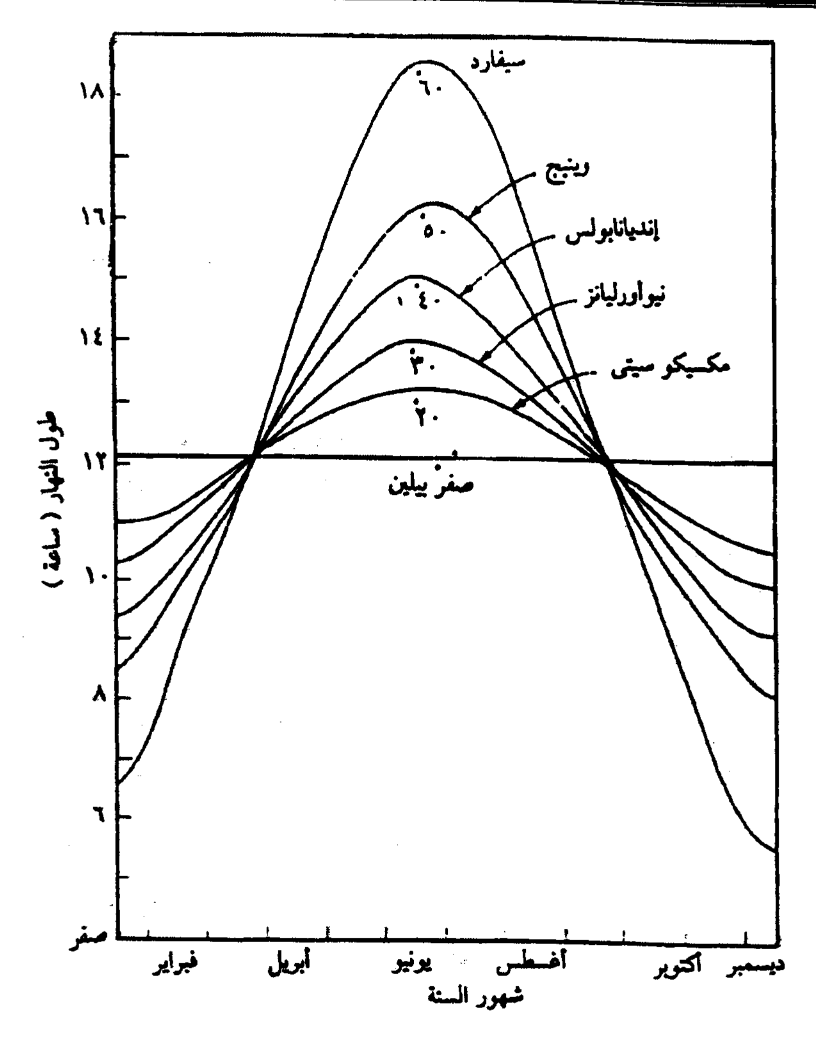
يختلف طول الفترة الضوئية باختلاف خط العرض واليوم من السنة كالتالى (شكل ٦-٢، وجدول ٦-٢):

١-فى ٢١ من مارس، و٢١ من سبتمبر تكون الشمس متعامدة تمامًا على خط الاستواء، ويكون الشروق من الشرق تمامًا، والغروب من الغرب تمامًا، ويتساوى طول الليل مع طول النهار فى كافة أرجاء الكرة الأرضية.

٢-فى ٢١ من ديسمبر تكون الشمس أبعد ما تكون جنوبًا عن خط الاستواء، ويصاحب ذلك أقصر نهار فى نصف الكرة الشمالى، وأطول نهار فى نصف الكرة الجنوبى.

٣-يحدث العكس فى ٢١ من يونية؛ حيث تكون الشمس أبعد ما تكون شمالاً عن خط الاستواء، ويصاحب ذلك أطول نهار فى نصف الكرة الشمالى، وأقصر نهار فى نصف الكرة الجنوبى.

٤-يتساوى طول النهار مع طول الليل عند خط الاستواء فى جميع أيام السنة.



شكل (٦-٢): التغيرات السنوية فى طول الفترة الضوئية بالمناطق المختلفة من العالم. ويلاحظ ازدياد الفارق بين طول النهار صيفًا عنه شتاءً كلما اتجهنا شمالاً (عن Leopold & Kriedmann ١٩٧٥).

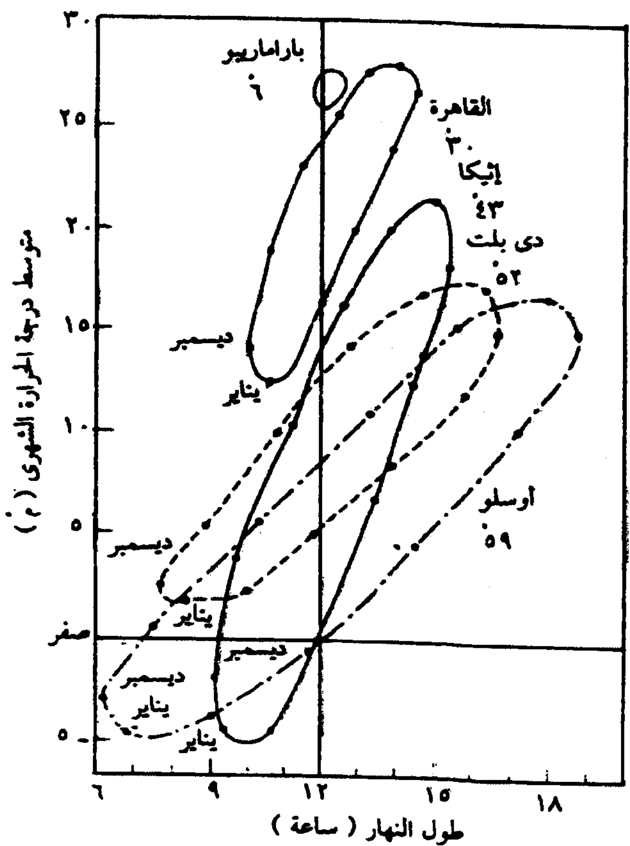
٥- فى نصف الكرة الشمالى يكون طول النهار فى الفترة من ٢١ مارس إلى ٢١ سبتمبر أطول فى المناطق الشمالية منه فى المناطق الأقرب إلى خط الاستواء. ويكون الفارق أكبر ما يمكن فى ٢١ من يونية، ويحدث العكس تمامًا فى نصف الكرة الجنوبى.

جدول (٧-٧): طول الفترة الضوئية (من شروق الشمس إلى غروبها) فى تواريخ مختلفة عند خطوط عرض مختلفة فى نصف الكرة الأرضية الشمالى. تزيد الفترة الضوئية النشطة فى عملية التأقت الضوئى عن تلك الفترات بنحو نصف ساعة إلى ساعة، وهى فترة الضوء غير المباشر الـتى تـسبق شـروق الشمس أو تلى غروبها (فترتى الـ twilight). وتتطابق هذه البيانات فى نـصف الكـرة الأرضـية الجنوبى، ولكن مع تقديم المواعيد أو تأخيرها بمقدار ٦ أشهر (عن Hanan وآخرين ١٩٧٨).

التاريخ	خط العرض والفترة الضوئية بالساعة والدقيقة					
	١٠°	٢٠°	٣٠°	٤٠°	٥٠°	٦٠°
١ من يناير	١١,٣٣	١٠,٥٧	١٠,١٥	٩,٢٣	٨,١٠	٦,٠٣
١٧ من يناير	١١,٣٧	١١,٠٥	١٠,٢٧	٩,٤٢	٨,٣٨	٦,٥١
١ من فبراير	١١,٤٢	١١,١٦	١٠,٤٦	١٠,١٠	٩,٢٠	٨,٠٠
١٧ من فبراير	١١,٥٠	١١,٣٢	١١,١٢	١٠,٤٧	١٠,١٥	٩,٢٣
١ من مارس	١١,٥٦	١١,٤٥	١١,٣٣	١١,١٨	١٠,٥٨	١٠,٢٨
١٧ من مارس	١٢,٠٥	١٢,٠٣	١٢,٠٢	١٢,٠٠	١١,٥٨	١١,٥٥
١ من أبريل	١٢,١٤	١٢,٢٠	١٢,٢٩	١٢,٣٩	١٢,٥٥	١٣,١٧
١٧ من أبريل	١٢,٢٢	١٢,٣٨	١٢,٥٧	١٣,٢٠	١٣,٥٣	١٤,٤٥
١ من مايو	١٢,٢٩	١٢,٥٢	١٣,٢٠	١٣,٥٤	١٤,٤١	١٥,٥٨
١٧ من مايو	١٢,٣٥	١٣,٠٧	١٣,٤٢	١٤,٢٧	١٥,٣٠	١٧,١٨
١ من يونية	١٢,٤٠	١٣,١٦	١٣,٥٧	١٤,٤٩	١٦,٠٤	١٨,١٧
١٧ من يونية	١٢,٤٢	١٣,٢٠	١٤,٠٤	١٥,٠٠	١٦,٢٢	١٨,٥٠
١ من يولية	١٢,٤٢	١٣,١٩	١٤,٠٣	١٤,٥٨	١٦,١٨	١٨,٤٣
١٧ من يولية	١٢,٣٨	١٣,١٢	١٣,٥٢	١٤,٤٢	١٥,٥٣	١٧,٥٧
١ من أغسطس	١٢,٣٣	١٣,٠٢	١٣,٣٤	١٤,١٦	١٥,١٤	١٦,٥١
١٧ من أغسطس	١٢,٢٦	١٢,٤٨	١٣,١١	١٣,٤١	١٤,٢٣	١٥,٣٠
١ من سبتمبر	١٢,١٨	١٢,٣٢	١٢,٤٦	١٣,٠٥	١٣,٣١	١٤,١٠
١٧ من سبتمبر	١٢,٠٩	١٢,١٣	١٢,١٨	١٢,٢٤	١٢,٣٢	١٢,٤٤
١ من أكتوبر	١٢,٠٢	١١,٥٧	١١,٥٣	١١,٤٧	١١,٣٩	١١,٢٨
١٧ من أكتوبر	١١,٥٣	١١,٤٠	١١,٢٥	١١,٠٦	١٠,٤٠	١٠,٠٢
١ من نوفمبر	١١,٤٧	١١,٢٥	١٠,٥٩	١٠,٢٩	٩,٤٨	٨,٤٣
١٧ من نوفمبر	١١,٤٠	١١,١٠	١٠,٣٦	٩,٥٥	٨,٥٨	٧,٢٤
١ من ديسمبر	١١,٣٦	١١,٠٠	١٠,٢٢	٩,٣٣	٨,٢٤	٦,٢٨
١٧ من ديسمبر	١١,٣٢	١٠,٥٦	١٠,١٤	٩,٢٠	٨,٠٦	٥,٥٤

٦- يحدث كذلك فى نصف الكرة الشمالى أن طول النهار فى الفترة من ٢١ سبتمبر إلى ٢١ مارس يكون أقصر فى المناطق الشمالية منه فى المناطق الأقرب إلى خط الاستواء. ويكون الفارق أكبر ما يمكن فى ٢١ من ديسمبر، ويحدث العكس تمامًا فى نصف الكرة الجنوبى (عن Edmond وآخرين ١٩٧٥).

وتكون هذه الاختلافات فى الفترة الضوئية مصاحبة بتغيرات أخرى فى درجة الحرارة، كما يتضح من شكل (٦-٣).



شكل (٦-٣): التغيرات السنوية فى كل من الفترة الضوئية ودرجة الحرارة فى المناطق المختلفة من العالم. يلاحظ أنه كلما ابتعدنا عن خط الاستواء، ازداد الفارق بين الصيف والشتاء فى كل من درجة الحرارة والفترة الضوئية (عن Leopold & Kriedmann ١٩٧٥).

تأثير الفترة الضوئية على نمو وتطور النباتات

تؤثر الفترة الضوئية photoperiod على النباتات عن طريقين؛ هما:

١- من خلال تأثيرها على كمية الضوء الكلية التى تتعرض لها النباتات؛ وبالتالى تؤثر على كمية الغذاء المجهز، والنمو، والمحصول. ولهذا يلاحظ أن المحصول يكون أكبر – عادة – صيفًا فى الدول الشمالية؛ حيث تزيد الفترة الضوئية إلى نحو ١٧ ساعة يوميًّا.

٢- تؤثر الفترة الضوئية تأثيرًا مباشرًا فى نمو وتطور النباتات. ويعرف هذا النوع من الاستجابة للفترة الضوئية باسم التأقت الضوئى Photoperiodism. وقد يكون تأثير الفترة الضوئية متمثلاً فى دفع النباتات نحو الإزهار، أو إلى تكوين درنات أو أبصال أو مدادات... إلى غير ذلك من عمليات النمو والتطور التى تتأثر بالفترة الضوئية.

وعادة.. يقصد بتأثير الفترة الضوئية تأثيرها على الإزهار، ما لم يذكر غير ذلك.

وتقسم النباتات حسب استجابتها للفترة الضوئية إلى ٣ مجموعات؛ وهى:

١- نباتات النهار القصير Short-day plants: وهذه لا تزهر إلا إذا زاد طول الليل على حد معين. فيجب أن تتعرض هذه النباتات لفترة ظلام لا تقل عن حد معين حتى تزهر. ومن أمثلتها: الذرة السكرية، والفول الرومى، وفول الصويا، والكايوت، والروزيل، والفراولة.

٢- نباتات النهار الطويل Long-day plants: وهذه لا تزهر إلا إذا قصر طول الليل عن حد معين. فيجب أن تتعرض هذه النباتات لفترة ظلام لا تزيد على حد معين حتى تزهر. ومن أمثلتها: السبانخ، والفجل، والشبت.

٣- نباتات محايدة Day-neutral plants: وهذه لا تتأثر فى إزهارها بالفترة الضوئية؛ ومن أمثلتها: الطماطم، والبامية، والقرعيات.

وكما سبق الذكر.. فإن تأثير الفترة الضوئية لا يقتصر على الإزهار، بل يمكن أن يكون على:

١- تكوين الأبصال: فيعتبر البصل والثوم من نباتات النهار الطويل بالنسبة لتكوين الأبصال.

٢- تهيئة النبات لتكوين الدرنات: فتعتبر البطاطس والطرطوفة واليام من نباتات النهار القصير بالنسبة لتهيئة النبات لتكوين الدرنات، كما تعتبر البطاطا والكاسافا من نباتات النهار القصيرة بالنسبة لزيادة الجذور فى الحجم (Yamaguchi ١٩٨٣).

٣- تكوين المدادات: فتعتبر الفراولة من نباتات النهار الطويل بالنسبة لتكوين المدادات.

٤- نمو السلاميات فى الفاصوليا.

٥- تمثيل صبغة الأنثوسيانين فى الكرنب الأحمر (Piringer ١٩٦٢).

٦- التأثير على النسبة الجنسية فى القرعيات؛ حيث تزداد نسبة الأزهار المذكرة إلى الأزهار المؤنثة فى النهار الطويل، بينما تضيق تلك النسبة — بزيادة عدد الأزهار المؤنثة المتكونة — فى النهار القصير.

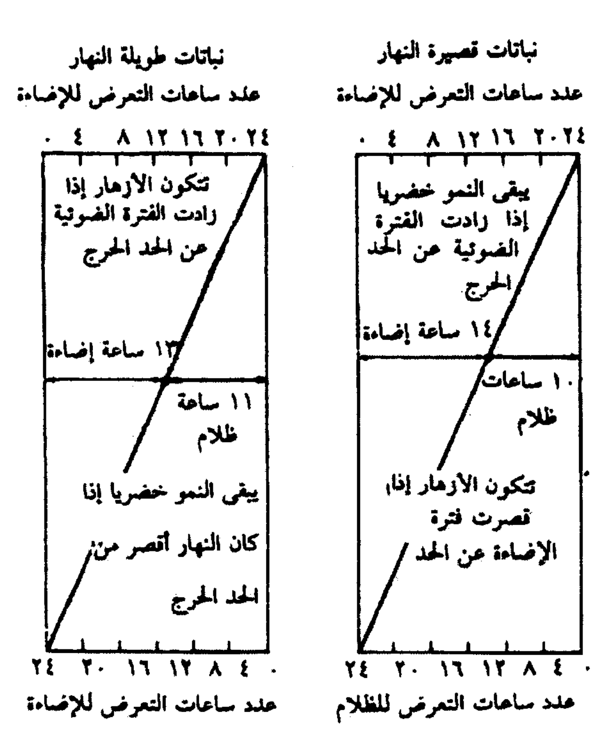
ومما تجدر ملاحظته أن الاستجابة للفترة الضوئية لا تستلزم أبدًا أن يكون النهار قصيرًا بالنسبة لنباتات النهار القصير، وأن يكون النهار طويلاً بالنسبة لنباتات النهار الطويل؛ بل إن العكس قد يحدث أحيانًا.

فالذرة السكرية تزهر فى المناطق الشمالية صيفًا؛ حيث يصل طول النهار إلى ١٧ ساعة، برغم أنها من نباتات النهار القصير، فى حين أن بعض أصناف السبانخ قد تزهر فى فترة إضاءة أقل من ١٢ ساعة، برغم أنها من نباتات النهار الطويل.

كذلك قد تكوّن بعض أصناف البصل أبصالاً فى نهار طوله ١١ ساعة، بينما لا يمكن لبعض الأصناف الأخرى أن تكوّن أبصالاً فى فترة إضاءة تقل عن ١٦ ساعة، برغم أن جميع أصناف البصل تُعَدّ من نباتات النهار الطويل بالنسبة لتكوين الأبصال.

فالعبرة بطول فترة الظلام، وما إن كانت الاستجابة لا تحدث إلا عند زيادتها عن

حد معين (نباتات النهار القصير)، أو إلا عند قصرها عند حد معين (نباتات النهار الطويل). ويوضح شكل (٦-٤) هذه العلاقة بين السبانخ - وهى من نباتات النهار الطويل، وتلزمها فترة ظلام لا تزيد على ١١ ساعة حتى تزهر - والقرنفل وهو من نباتات النهار القصير - وتلزمه فترة ظلام لا تقل عن ١٠ ساعات حتى يزهر.



شكل (٦-٤): تاثير الفترة الضوئية على إزهار السبانخ والقرنفل. يلاحظ ان الفترة الضوئية الحرجة هى ١٣ ساعة للسبانخ (على اليسار)، و١٤ ساعة للقرنفل (على اليمين) (عن Steward ١٩٦٦).

ويمكن عمليًّا زيادة طول النهار فى المواسم القصيرة النهار بعمل وميض من الضوء لمدة ٤ ثوان كل دقيقة ليلاً، أو بالإضاءة لمدة ٣ ساعات بعد نهاية النهار. ويستفاد من ذلك فى عدم زيادة طول فترة الظلام عن حد معين، وبالتالى دفع نباتات النهار الطويل للإزهار. وتختلف الاستجابة لهذه المعاملة بين نباتات النهار الطويل ونباتات النهار القصير.

كما يمكن إطالة فترة الظلام؛ وذلك بتغطية النباتات بقماش أسود لعدة ساعات يوميًّا أثناء النهار؛ وبذلك يمكن دفع نباتات النهار القصير نحو الإزهار فى غير موسمها، كما فى الأرولا.

الأهمية البستانية للفترة الضوئية

عمليًّا.. يستفاد من دراسة الفترة الضوئية وتأثيرها على النباتات فى اختيار الصنف والموعد المناسبين للزراعة فى منطقة الإنتاج، بحيث ينمو المحصول بالطريقة التى تؤدى إلى إنتاج المحصول الاقتصادى الذى زرع من أجله، فمثلاً:

١-عند زراعة محصول مثل السبانخ يراعى اختيار موعد الزراعة؛ بحيث يتم إنتاج المحصول الاقتصادى – وهو الأوراق – قبل زيادة الفترة الضوئية إلى الحد الذى يدفع النباتات نحو الإزهار، فتفقد بذلك قيمتها الاقتصادية.

٢-كذلك توجد اختلافات كبيرة بين أصناف السبانخ فى سرعة اتجاهها نحو الإزهار بزيادة الفترة الضوئية، فيجب اختيار الأصناف الأقل ميلاً للإزهار فى الزراعات التى يصاحبها نهار طويل نسبيًّا.

٣-عند زراعة البصل يجب اختيار الأصناف التى يمكنها تكوين الأبصال فى الفترة الضوئية السائدة فى منطقة الإنتاج. فتزرع الأصناف التى يمكنها تكوين الأبصال فى فترة ضوئية قصيرة نسبيًّا فى المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية. أما الأصناف التى تلزمها فترة ضوئية طويلة، فلا يمكنها تكوين أبصال جيدة فى مثل هذه المناطق.

٤-توقيت موعد الزراعة؛ بحيث تتجه النباتات نحو الإزهار فى الوقت المناسب عند الرغبة فى إنتاج البذور.

٥-توفير الفترة الضوئية المناسبة لإزهار النباتات فى برامج التربية.

الفصل السابع

شدّ الرياح والأتربة والأمطار

إن للرياح تأثيرات سلبية كثيرة على النباتات بصورة عامة، منها ما يلى:

١- اقتلاع النباتات، وكسر فروع الأشجار، ورقاد النباتات الطويلة المروية حديثًا.

٢- تغطية النباتات بالكثبان الرملية.

٣- إثارة حبيبات الرمل التى تضرب فى النباتات، محدثة بها أضرارًا كبيرة.

٤- اختلال التوازن المائى داخل النباتات وذبولها عندما تكون الرياح ساخنة جافة؛ نظرًا لتسببها فى زيادة سرعة النتح بدرجة أكبر من قدرة الجذور على امتصاص الماء.

٥- إغلاق الثغور جزئيًا عند زيادة سرعة الرياح عن ١٠ كم/ساعة، ويؤدى ذلك إلى نقص تبادل الغازات، وبطء عملية البناء الضوئى.

ولأجل هذا يلزم الاهتمام بإقامة مصدات الرياح حول مزارع الخضر، كما تجب دراسة تحركات الهواء البارد من أعالى الجبال نحو الوديان؛ لما لذلك من تأثيرات قد تكون ضارة أو مفيدة — حسب المحصول والظروف الجوية السائدة — قبل الشروع فى زراعة محاصيل الخضر فى مثل هذه الأماكن.

التأثير الفسيولوجى للرياح على النباتات

تُحدث الرياح التأثيرات الفسيولوجية التالية على النباتات:

١- تتسبب الرياح فى إحداث أضرارًا ميكانيكية مباشرة.

٢- تزداد شدة الأضرار فى كل من مرحلتى البادرة والإزهار والإثمار.

٣- يمكن أن تزداد مشكلة الرقاد، خاصة إذا صاحبت الرياح أمطار غزيرة وكانت النباتات محملة بالثمار.

٤- تتسبب الرياح فى صغر حجم النباتات، وزيادة اندماجها، وزيادة نسبة الجذور إلى النموات الخضرية فيها عما فى النباتات غير المعرضة للرياح.

٥- تستجيب النباتات للحركة الفيزيائية التى تُحدثها الرياح بإحداث تحويرات فى طرز النمو، تزيد من القوة الميكانيكية لمختلف الأجزاء النباتية.

٦- تعد الخضر من أكثر الأنواع النباتية حساسية لأضرار الرياح، حتى ولو كانت بسرعة ٤-٥م/ثانية، وهى الأضرار التى تتمثل فى تعطيل التوازن المائى فى النبات، وخفض معدل البناء الضوئى، والتأثير السلبى على التلقيح ونضج الثمار.

٧- التأثير السلبى على المحصول جراء التجريح الذى ينشأ عن ضرب التربة وحبيبات الرمل للأوراق واحتكاك الأوراق بعضها ببعض، والتأثير السلبى على جودة المنتج.

٨- احتمال موت كثير من النباتات أو تأخير الحصاد بشدة (Hodges & Brandle ١٩٩٦).

هذا .. وتتلف الرياح القوية أوراق الكنتالوب، وتؤدى إلى تحلل أنسجتها؛ الأمر الذى يؤثر سلبيًا على المحصول كمًّا ونوعًا. وعلى الرغم من أن النباتات الصغيرة قد تتمكن من تجاوز تلك الأضرار بتكوينها لأوراق جديدة تعوض ما فقد منها، فإن وقع تلك الأضرار على المحصول ونوعيته تزداد وطأته كلما تأخر حدوث الأضرار، وخاصة إذا حدثت خلال العشرين يومًا التى تسبق الحصاد (Bartolo & Schweissing ١٩٩٨).

٩- يؤدى ضرب حبيبات الرمل والتربة للأوراق واحتكاك الأجزاء النباتية بعضها ببعض إلى تعطيل عمل طبقة الأديم بالأوراق؛ مما يؤدى إلى زيادة النتح والتأثير بشدة على الحاجز الطبيعى ضد بخر الماء، كما قد يُهئ ذلك الأوراق لأن تكون أكثر حساسية

لأضرار ملوثات الهواء وللإصابة بمسببات الأمراض.

١٠- يمكن أن تنقل الأتربة التى تحملها الرياح مسببات الأمراض الفطرية والبكتيرية؛ فضلاً عن أن الجروح التى تسببها تلك الأتربة تمثل مدخلاً للإصابة ببعض المسببات المرضية مثل البكتيريا.

ولقد وجد - على سبيل المثال - أن اللفحة العادية للفاصوليا التى تسببها البكتيريا *Xanthomonas phaseoli* ازدادت بنسبة ١٢٠٪ عندما ازدادت فترة التعرض للرمل الملوث بالبكتيريا من ثلاث إلى خمس دقائق. كذلك وجد أن نباتات الفلفل التى أُضيرت جراء التعرض لضربات حبات الرمل التى تحملها الرياح كانت أوراقها أكثر قابلية للإصابة بالتبقع البكتيرى وظهر عليها ضِعف عدد البقع المرضية التى ظهرت على الأوراق التى لم تتعرض لشدّ الرياح.

١١- تؤثر مصدات الرياح على توزيع كل من آفات المحصول وأعدائها الطبيعية، كما تقل أعداد الحشرات الملقحة، ويقل طيران النحل بفعل الرياح، وينعدم الطيران عند زيادة سرعة الرياح عن ٦,٧ - ٨,٩م/ ثانية.

١٢- يمكن أن تقلل مصدات الرياح - كذلك - من انتشار الفيروسات التى ينقلها المن (Hodges & Brandle ١٩٩٦).

أهمية مصدات الرياح وتأثيرها الفسيولوجى

ترتفع حرارة الهواء فوق النموات الخضرية المحمية بمصدات الرياح بمقدار ١-٢°م عما فى حالة عدم وجود المصدات؛ الأمر الذى يمكن أن يزيد معه موسم النمو بمقدار ١٠ أيام فى الجو البارد عما يناسب للمحصول المزروع. وعمومًا.. فإن متوسط درجة الحرارة فوق النموات الخضرية يكون فى المحاصيل المحمية بمصدات الرياح أعلى نهارًا وأقل ليلاً عما فى حالة عدم وجود المصدات، وتعمل المصدات - كذلك - على زيادة سرعة النمو فى كل من الربيع والخريف حينما تكون الحرارة أقل مما يناسب المحصول.

كذلك تؤدى مصدات الرياح إلى زيادة الرطوبة الأرضية؛ بسبب انخفاض التبخر السطحى فى تلك الحقول. وعلى الرغم من زيادة استهلاك الماء فى الحقول المحمية بمصدات الرياح؛ بسبب زيادة النمو الخضرى فيها، فإن كفاءة استخدام الماء تكون أعلى فيها عما فى الحقول المعرضة للرياح.

وتعمل مصدات الرياح النباتية على زيادة الرطوبة النسبية فى الهواء المحيط بالنباتات؛ مما يعمل على تحسين النمو النباتى، وعقد الثمار وجودتها، وخاصة فى المناطق القاحلة وشبه القاحلة.

وبصورة عامة.. يؤدى استخدام مصدات الرياح إلى زيادة المحصول بنسبة ٥٪ إلى ٥٠٪ (Hodges & Brandle ١٩٩٦).

تباين القدرة على تحمل أضرار الرياح فى محاصيل الخضر

تزداد قدرة محاصيل الخضر على تحمل أضرار الرياح فى الحالات التالية:

١- تزداد قدرة شتلات الطماطم على تحمل أضرار حبات الرمل التى تضرب بها الرياح الأوراق عند زيادة حجم عيون الشتَّالات المستخدمة فى إنتاج الشتلات حتى ٣٥سم^{3}، وعند زيادة عمر الشتلات حتى سبعة أسابيع.

٢- يمكن للمحاصيل ذات طبيعية النمو غير المحدود مثل الخيار، وتلك التى تُنتج أزهارها على مدى فترة زمنية طويلة مثل الفاصوليا .. يمكنها تعويض الخسائر التى قد تُحدثها الرياح، وذلك أكثر من المحاصيل ذات النمو المحدود مثل الكرنب والجزر والبصل.

٣- تتباين المحاصيل ذاتها فى قدرتها على تحمل أضرار الرمال التى تحملها الرياح، ومن المحاصيل الشديدة الحساسية الجزر والفلفل والطماطم، بينما تُعد اللوبيا أكثر تحملاً (Hodges & Brandle ١٩٩٦).

التأثير الفسيولوجى للأتربة

تؤثر الأتربة التى تتراكم على أوراق الخيار تأثيرات بالغة على تبادل الغازات، والبناء الضوئى، والنتح، ويتوقف ذلك على حجم جزيئات الأتربة، وما إذا كانت الثغور مفتوحة، أم مغلقة عند سقوط الأتربة على الأوراق. ففى دراسة استعمل فيها أتربة خاملة كيميائيًّا، أدى سقوط الأتربة على الأوراق وقت انفتاح الثغور إلى نقص توصيلها للغازات فى الضوء، وزيادة توصيلها فى الظلام، مقارنة بنباتات الشاهد التى لم تتعرض للأتربة، وذلك بسدّ الأتربة للثغور. وقد ازداد تأثير الأتربة كلما كانت جزيئاتها أصغر حجمًا، بينما كان تأثيرها لا يذكر عندما سقطت الأتربة على الأوراق ليلاً أثناء انغلاق الثغور. كذلك أدت الأتربة إلى انخفاض معدل البناء الضوئى بتظليل الأوراق، وكان الحجم الصغير منها أقوى تأثيرًا فى تظليل الأوراق. وقد أدت زيادة امتصاص الطاقة الشمسية الساقطة بواسطة الأتربة إلى رفع درجة حرارة الأوراق، ومن ثم التأثير على معدل البناء الضوئى حسب درجة الحرارة التى وصلت إليها الأوراق. كذلك أدت الزيادة فى درجة حرارة الأوراق إلى زيادة مقابلة فى معدلات النتح منها.

كذلك تؤثر الأتربة التى تسقط على أوراق الفاصوليا سلبيًّا على معدل البناء الضوئى فيها، ولكن يتوقف مدى هذا التأثير على ما إذا كانت الثغور مفتوحة أم مغلقة وقت سقوط الأتربة، وعلى قطر ذرات الغبار. فيؤدى سقوط الأتربة عندما تكون الثغور مفتوحة إلى تقليل درجة توصيلها نهارًا وزيادتها ليلاً — مقارنة بما يحدث فى نباتات الكنترول — وذلك بسبب الانسداد الذى تحدثه الأتربة للثغور. ويزداد مقدار هذا التأثير كلما صغر قطر ذرات الغبار. وبالمقارنة لم يكن لسقوط الغبار على الأوراق تأثيرًا يذكر عندما حدث ذلك وقت أن كانت الثغور مغلقة. وقد أثر الغبار سلبيًّا على معدل البناء الضوئى من خلال تظليله للأوراق، وازداد هذا التأثير مع صغر حجم ذرات الغبار. كذلك أدى امتصاص الغبار للطاقة الشمسية إلى رفع درجة حرارة الورقة إلى درجة أثرت على معدل البناء الضوئى فيها بالزيادة أو بالنقص حسب درجة حرارة الهواء. كما أدى ارتفاع حرارة الأوراق إلى زيادة معدل النتح منها (Hirano وآخرون ١٩٩٥).

التأثير الفسيولوجى للأمطار والرطوبة النسبية

الأمطار

تنغلق ثغور أوراق الفاصوليا كلية فى خلال دقيقتين فقط من تعرضها للأمطار التى تؤدى إلى ابتلالها التام، ثم تفتح جزئيًّا إلى نحو ٥٠٪ من انفتاحها الكامل مع استمرار الأمطار (أو الرذاذ) لمدة ساعة. ويتغير معدل تبادل غاز ثانى أكسيد الكربون فى هذه الأوراق المبتلة مع التغير فى درجة انفتاح الثغور، ويبلغ حوالى ٦٠٪–٧٠٪ مما فى الكنترول فى خلال ساعة واحدة. ولا يقتصر تأثير ابتلال الأوراق فى معدل البناء الضوئى على هذا التأثير السلبى الفورى، ولكنه يحدث كذلك ضررًا – يدوم لفترة طويلة – فى جهاز البناء الضوئى ذاته (Ishibashi & Terashima ١٩٩٥).

الرطوبة النسبية

أدت الرطوبة النسبية العالية إلى تحفيز نمو الخس عندما كانت شدة الإضاءة عالية، وربما كان مرد ذلك إلى أنها ساعدت النباتات فى التغلب على الشدِّ المائى (عن Etoh ١٩٩٤).

وأدى إنتاج الخس فى رطوبة نسبية عالية (٩٢٪ نهارًا مع ١٠٠٪ ليلاً) إلى زيادة المساحة الورقية، ونسبة النموات القمية إلى الجذرية، والوزن الجاف عما فى حالة إنتاجه فى رطوبة نسبية منخفضة (٦٢٪ نهارًا مع ٨٢٪ ليلاً) (Bradbury & Ahmed ١٩٩٦).

الفصل الثامن

شدّ التغيرات فى تركيز ثانى أكسيد الكربون وعلاقته بشدّ الاحتباس الحرارى

تاثير تركيز ثانى أكسيد الكربون على المناخ

بالرغم من الأهمية القصوى لغاز ثانى أكسيد الكربون فى عملية البناء الضوئى، إلا أن الغاز ذاته لا يتغير بتغير المناخ السائد من منطقة لأخرى على سطح الكرة الأرضية، وإنما هو الذى يؤثر فى المناخ كله على سطح هذا الكوكب.

لقد أصبح من المسلم به أن النشاط الإنسانى المتزايد – المتمثل فى إحراق الوقود الحفرى من فحم وبترول وغاز طبيعى، وإزالة الغابات، والإفراط فى الرعى وما ترتب عل ذلك من تصحر – أدى إلى زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى. وقد قدرت هذه الزيادة بنحو جزء ونصف إلى جزأين فى المليون سنويًا منذ نحو ٢٥ عامًا. كما صاحب إحراق الوقود الحفرى زيادة مماثلة فى المطر الحامضى، وفى كل من غازات الأوزون، وثانى أكسيد الكبريت، وأكاسيد النيتروجين.

كما أصبح من المسلم به كذلك أن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى أدت – وتؤدى – إلى رفع درجة الحرارة على سطح هذا الكوكب؛ ذلك لأن الغاز يعد "شفافًا" بالنسبة للجزء المنظور من الموجات الضوئية الصادرة عن الشمس – وهى التى تشكل الجزء الأكبر من الطاقة التى تصل إلينا من الشمس – إلا أن جزيئات غاز ثانى أكسيد الكربون الموجودة فى الغلاف الجوى تمتص كثيرًا من الطاقة الحرارية التى تنطلق من الأرض فى صورة أشعة تحت حمراء طويلة الموجة، ثم تعيد إشعاعها – مرة أخرى – فى جو الأرض، بدلاً من انطلاقها إلى الفضاء الخارجى.

وقبل النشاط الإنسانى المتسارع منذ منتصف القرن العشرين كان تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى بالقدر الذى يسمح بتسرب الطاقة الحرارية المنبثة من الأرض بما يكفى لاحتفاظ الأرض بتوازنها الحرارى. ولكن.. مع زيادة تركيز الغاز، أصبح قدر أكبر من الطاقة الحرارية المنبثة من الأرض يعود ثانية إلى جو الأرض بدلاً من انطلاقه إلى الفضاء الخارجى؛ الأمر الذى أدى – ويؤدى – إلى ارتفاع تدريجى فى درجة حرارة الأرض،

ونظرًا لأن غاز ثانى أكسيد الكربون يعمل – بالنسبة لكوكب الأرض – على منع فقد الحرارة المنبثة من الأرض – كما يفعل الغلاف الزجاجى بالنسبة للصوبة الزجاجية – لذا.. عُرفت هذه الظاهرة باسم "تأثير الصوبة" Greenhouse Effect، علمًا بأن المقصود بالصوبة هو كوكب الأرض.

وقد نشط الباحثون فى إيجاد الصيغ الرياضية التى تتنبأ بمقدار الزيادة فى درجة حرارة كوكب الأرض مع زيادة تركيز نسبة الغاز فى الغلاف الجوى. وتُقدَّر هذه الزيادة فى إحدى الدراسات بنحو ٢,٨°م عند تضاعف تركيز الغاز، بينما تقدرها دراسة أخرى بنحو ٢°م عند خط الاستواء، مقابل زيادات أكبر فى درجة الحرارة كلما اتجهنا نحو القطبين؛ بحيث تكون الزيادة حوالى ٤°م عند خط عرض ٥٠° شمالاً، وسبع درجات مئوية عند خط عرض ٧٠° شمالاً.

ويمكن تلخيص معظم التنبؤات المتعلقة بالارتفاع فى درجة حرارة كوكب الأرض عند تضاعف تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون بأن متوسط الارتفاع فى درجة الحرارة – عند مختلف خطوط العرض – سيتراوح بين ٢° و ٣,٥°م، بمدى يتراوح بين ١,٦° و٤,٥°م، ومتوسط عام للكرة الأرضية يقدر بنحو ٢,٥° – ٣°م، علمًا بأن التدفئة تصل إلى أقصاها عند القطبين؛ الأمر الذى يترتب عليه ذوبان جزء من الثلوج المتراكمة بها؛ مما يرفع من مستوى المياه فى البحار والمحيطات إلى درجة تغطية مياه البحار جزءًا كبيرًا من اليابسة.

ولكن.. مقابل هذه النظرة التشاؤمية لتلك الظاهرة، فإن هناك وجهة نظر أخرى أكثر إشراقًا؛ تعتمد على حقيقة أن التركيز الحالى لغاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى أقل من التركيز الأمثل لعملية البناء الضوئى. ويؤكد هذه الحقيقة أن زيادة تركيز الغاز فى البيوت المحمية — فى دول الشمال — إلى ١٠٠٠ جزء فى المليون — مقابل التركيز العادى الذى يبلغ نحو ٣٥٠ جزءًا فى المليون — أصبح إجراء روتينيًّا لزيادة محصول الصوبات من الخضر ونباتات الزينة.

ويتوقع العلماء أن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى ستؤدى إلى زيادة الإنتاج من مختلف المحاصيل الزراعية. ويُقدّر أن مضاعفة تركيز الغاز ستؤدى إلى زيادة معدل البناء الضوئى فى النباتات الـ C_3 بنحو ٥٠٪، مع زيادة المحصول والوزن الجاف من ٢٠٪ — ٤٥٪ (عن Wittwer ١٩٨٣).

وللقراءة المتعة فى هذا الموضوع .. يراجع جريبين (١٩٩٢، ترجمة أحمد مستجير).

التأثيرات المتوقعة للتغيرات المناخية على المحاصيل الزراعية والأنواع البرية

إن الإنبعاثات الغازية الناتجة عن النشاط الإنسانى تُضيف بكثرة للتركيزات المتواجدة بالفعل فى الهواء الجوى من ثانى أكسيد الكربون، والميثان، والكلوروفلوروكاربونات chlorofluorocarbons وأكاسيد النيتروجين، وغيرهم. ويستدل من عديد من الدراسات أن تلك الغازات سوف تتسبب فى ارتفاع درجة الحرارة بمعدل ٠,٣°م كل عقد من الزمان؛ لتصل إلى زيادة — فوق الحرارة الحالية — مقدارها ١°م فى عام ٢٠٢٥، و٣°م فى عام ٢١٠٠ (Wahid وآخرون ٢٠٠٧).

ومن المتوقع أن متوسط حرارة مواسم النمو سوف تزداد بدرجة أعلى من المتوسط السنوى العام، مع توقع انخفاض معدل هطول الأمطار — المصاحب لارتفاع درجة الحرارة — فى بعض مناطق الإنتاج. كذلك من المتوقع زيادة تكرار معدل حدوث

الموجات الحارة، وزيادة حدتها ومدتها. وتبدو الصورة أنه مع نهاية القرن الحادى والعشرين سوف يكون متوسط حرارة مواسم النمو فى المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية أعلى مما تصل إليه الحرارة القصوى الموسمية هذه الأيام.

ولسوف يؤدى تأقلم المحاصيل على التغيرات المناخية – إلى زيادة محصول الحبوب مثل الذرة والقمح والأرز فى المناطق ذات المناسيب العالية والمتوسطة الارتفاع التى يكون الارتفاع فى حرارتها معتدلاً مع زيادة فى تركيز ثانى أكسيد الكربون. ولكن مع ارتفاع فى الحرارة بمقدار ١–٣°م فإن من المتوقع انخفاض المحصول فى المناطق ذات المناسيب الأقل ارتفاعًا، وفى تلك التى لا توجد فيها تدرجات فى المناسيب، أى فى المناطق ذات الأراضى المنبسطة (عن Ainsworth & Ort ٢٠١٠).

التأثيرات المتوقعة للاحتباس الحرارى على الزراعة فى المناطق الشمالية من العالم

يذكر Roos وآخرون (٢٠١١) أن ارتفاع الحرارة وزيادة الرطوبة فى الدول الاسكندنافية جراء الاحتباس الحرارى يمكن أن يؤديا إلى إطالة موسم النمو واحتمال إدخال محاصيل جديدة فى الزراعة، لكن مع زيادة احتمالات ازدهار بعض الحشرات ومسببات الأمراض فى غياب فترات البرد الطويلة.

ومن بين الحشرات التى توقعوا ازدهارها ذبابة البطاطا البيضاء والمن والفراشة ذات الظهر الماسى وخنفساء كلورادو.

ومن الأمراض التى توقعوا ازدياد انتشارها لفحة ألترناريا فى الصليبيات والندوتين المبكرة والمتأخرة والجرب المسحوقى فى البطاطس، وكذلك الفيروسات التى ينقلها المن.

تأثير التغيرات المناخية على الجيرمبلازم البرى فى بيئته الطبيعية

يمثل الجيرمبلازم البرى مصدرًا رئيسيًّا لصفات تحمل الظروف البيئية القاسية بالنسبة لمربى النبات، لكن هذا الجيرمبلازم معرض للفقدان بسبب التغيرات المناخية،

حيث يستدل من دراسة أجريت على توزيع الفول السودانى البرى فى أمريكا الجنوبية، وأنواع اللوبيا فى أفريقيا، والبطاطا البرية فى أمريكا الوسطى والجنوبية على ما يلى:

١- من المتوقع أن تفقد نصف الأنواع التى شملتها الدراسة مدى انتشارها الطبيعى بحلول منتصف القرن الحادى والعشرين بسبب التغيرات المناخية.

٢- من المتوقع أن تتحرك كل الأنواع إلى ارتفاعات أعلى، كما قد يغير بعضها خطوط العرض التى ينتشر فيها حاليًا.

٣- من المقدر أن تندثر ١٦٪-٢٢٪ من الأنواع التى شملتها الدراسة.

ويبين ذلك مدى الحاجة إلى زيادة الجهد المبذول فى جمع الجيرمبلازم قبل أن يفقد تنوعه الطبيعى.

هذا.. ويتوقع حدوث المخاطر ذاتها على سلالات المزارعين landraces التى تنتشر زراعتها لدى أكثر من بليون مزرعة بدائية توجد على امتداد الكرة الأرضية، حيث يقوم المزارعين فيها بأنفسهم بإكثار التقاوى التى يستخدمونها فى الزراعة من عام لآخر. ومع التغيرات المناخية سوف ينخفض محصول تلك السلالات تدريجيًّا؛ الأمر الذى يؤدى بالمزارعين إلى تركهم لها فى نهاية الأمر؛ مما يستدعى سرعة جمعها قبل فقدانها (The conservation of global genetic resources in th face of climate change, Bellagio Meeting – ٢٠٠٧ – الإنترنت).

الوسائل الزراعية لتخفيف آثار التغيرات المناخية

إن التأقلم فى الزراعة على التغيرات المناخية هو – على النطاق العريض – أى استجابة تؤدى إلى تجنب الإضرار المتوقعة والمحافظة على المحصول من التدهور.

ومن أمثلة التأقلم على التغيرات المناخية، ما يلى:

١-تعديل مواعيد الزراعة والحصاد.

٢-التوسع فى زراعة المحاصيل فى مناطق أكثر ملاءمة.

٣-تغيير التراكيب الوراثية والأنواع بحيث تكون أكثر ملاءمة للتغيرات المناخية وأكثر تحملاً للشدِّ الحرارى.

٤-تربية جيرمبلازم جديد بصفات محسنة.

٥-تعديل معدلات التسميد وممارسات الرى.

٦-تطبيق التنبؤات بحالة الجو لأجل تقليل الأخطار فى الإنتاج (Ainsworth & Ort ٢٠١٠).

مراجع فى تأثير التغيرات المناخية على الإصابات المرضية ومكافحتها

يمكن الاطلاع على تفاصيل تأثيرات التغيرات المناخية على الإصابات المرضية والأمن الغذائى فى Chakraborty & Bewton (٢٠١١)، وNewton وآخرين (٢٠١١)، وEastburn وآخرين (٢٠١١)، وتأثيرها على استراتيجيات المكافحة فى Juroszek & Tiedemann (٢٠١١)، كما يتناول El-Hmmady وآخرون موضوع التغيرات المناخية وتأثيراتها على الزراعة.

تأثير زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون على النمو المحصولى تحت ظروف الحقل

تستفيد النباتات من زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء المحيط بها، وهو أمر تؤكده عديد من الدراسات التى أجريت على النباتات النامية فى البيوت المحمية فى المناطق التى لا تلزم فيها التهوية لخفض درجة الحرارة، وخاصة عندما تكون حرارة الهواء الخارجى شديدة الانخفاض؛ الأمر الذى يخشى معه من حدوث انخفاض شديد فى درجة الحرارة داخل الصوبة عند تهويتها، أو الذى تترتب عليه

زيادة كبيرة فى تكلفة التدفئة؛ ولذا يلجأ منتجو الخضر المحمية فى تلك المناطق إلى زيادة تركيز الغاز — بالوسائل الصناعية — فى جو الصوبة.

ونظرًا لصعوبة التحكم فى تركيز الغاز فى الزراعات المكشوفة؛ لذا.. لم يحاول أحد من الباحثين دراسة تأثير تركيز الغاز فى مثل هذه الظروف، إلا أن الأنفاق المنخفضة يمكن أن تمثل بيئة محددة يمكن التحكم فيها فى الأيام التى لا يجوز فيها فتحها لتهويتها بسبب شدة انخفاض الحرارة فى الجو الخارجى. ففى مثل هذه الظروف ينخفض تركيز الغاز بشدة من جَرّاء استنفاذه فى عملية البناء الضوئى، وتفيد زيادة تركيز الغاز — فى ظروف كهذه — فى زيادة المحصول. وتكون الزيادة فى المحصول أكبر عند زيادة تركيز الغاز عن المستوى الطبيعى له فى الهواء الجوى.

التباين فى تأثير الغاز

ازداد الاهتمام فى الآونة الأخيرة بدراسة تأثير زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى على عديد من المحاصيل الزراعية. وبصفة عامة.. يتباين مدى الاستجابة حسب المحصول وإذا ما كان C_3 أم C_4، وبحسب حالة النيتروجين والرطوبة فى التربة.

وكما كان متوقعًا.. فإن زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون أحدثت زيادة كبيرة فى معدل البناء الضوئى وإنتاج الكتلة العضوية والمحصول فى الأنواع الـ C_3 (مثل القمح والراى والأرز والبرسيم الأبيض والبطاطس والقطن والعنب)، وبدرجة قليلة فى الأنواع الـ C_4 (مثل السورجم)، لكن زيادة ثانى أكسيد الكربون أحدثت نقصًا فى توصيل الثغور والنتح فى كل من الأنواع الـ C_3 والـ C_4، وحسّنت كثيرًا من كفاءة استخدام الماء فى كل المحاصيل. وكان تحفيز النمو فى ظروف شدّ الرطوبة الأرضية بنفس القدر — أو أكبر — مقارنة بتحفيز النمو فى ظروف توفر الرطوبة. كما كان تحفيز النمو فى غير البقوليات منخفضًا فى ظروف انخفاض مستوى النيتروجين فى التربة، بينما حفّزت

زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون — بشدة — من نمو البرسيم الأبيض (وهو بقولى) فى ظروف كل من توفر النيتروجين ونقصه. وقد ازداد نمو الجذور بصفة عامة أكثر من تحفيز النموات الخضرية (Kimball وآخرون ٢٠٠٢).

النمو النباتى والبناء الضوئى

فى دراسة أجريت على الخيار والكوسة والطماطم، أضيف الغاز إلى أنفاق الزراعة — من خلال أنابيب الرى بالتنقيط فى غير أوقات الرى — بحيث ظل تركيز الغاز داخل النفق يتراوح بين ٠,٠٧٪ و١٪ (يبلغ التركيز الطبيعى للغاز حوالى ٠,٠٣٥٪) خلال فترة الإضاءة يوميًّا لمدة حوالى أربعة أسابيع بعد الإنبات. وقد أدت هذه المعادلة إلى زيادة الوزن الجاف للنباتات، وزيادة المحصول بنسبة ٣٠٪ للخيار، و٢٠٪ للكوسة، و٣٢٪ للطماطم. وقد شكّلت التغذية بثانى أكسيد الكربون أقل من ١٠٪ من التكلفة الإجمالية السابقة للحصاد (عن Hartz وآخرين ١٩٩١).

كما درس Fierro وآخرون (١٩٩٤) تأثير زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون من ٣٥٠ إلى ٩٠٠ جزء فى المليون لمدة ثمانى ساعات يوميًّا — خلال فترة إنتاج الشتلات داخل البيوت المحمية — على نمو محصولى الطماطم والفلفل عند زراعتهما بعد ذلك تحت ظروف الحقل. ووجد الباحثون أن هذه المعاملة أدت — عند زيادة الإضاءة لمدة ٣ أسابيع قبل الشتل — إلى زيادة وزن الشتلات الجاف بنسبة حوالى ٥٠٪ للنموات القمية، و٤٩٪، و٦٢٪ للنمو الجذرى فى كل من الطماطم والفلفل على التوالى، بينما ازداد المحصول فيهما بنسبة ١٥٪، و١١٪ على التوالى.

إن النمو النباتى يمكن أن يزداد بزيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى، جراء حدوث زيادة فى معدل البناء الضوئى؛ وما يترتب على ذلك من زيادة فى المحصول. كذلك فإن زيادة تركيز غاز أكسيد الكربون يمكن أن تزداد معها كفاءة استخدام النبات للماء، وما يترتب على ذلك من انخفاض فى استعمال الماء. ويمكن

الرجوع إلى Prior وآخرين (٢٠١١) لمزيد من التفاصيل فى هذا الأمر.

هذا.. وتبلغ أقصى كفاءة لجهاز البناء الضوئى فى تحويل الطاقة الشمسية إلى كتلة حيوية ٤,٦٪ فى النباتات الـ C_3 على ٣٠°م، مع تواجد ثانى أكسيد الكربون بالتركيز الحالى وهو ٣٨٠ جزءًا فى المليون، وتزيد الكفاءة إلى ٦٪ فى النباتات الـ C_4، لكن تلك الميزة للنباتات الـ C_4 تختفى عندما يقترب تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى من ٧٠٠ جزء فى المليون (Zhu وآخرون ٢٠٠٨).

الإصابات المرضية

تُحدث زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى تغيرات نباتية فسيولوجية وتشريحية ومورفولوجية قد تلعب دورًا فى زيادة مقاومة النباتات للأمراض، ومن بين تلك التغيرات، ما يلى:

١-تسمح زيادة معدل البناء الضوئى — فى ظروف زيادة ثانى أكسيد الكربون — بتوفير النواتج الأيضية التى تُسهم فى المقاومة.

٢-يعمل نقص كثافة الثغور ودرجة توصيلها فى ظروف زيادة ثانى أكسيد الكربون على زيادة المقاومة للأمراض.

٣-من بين التغيرات الأخرى التى تُصاحب زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون، وقد تُسهم فى زيادة المقاومة: زيادة تراكم المواد الكربوهيدراتية فى الأوراق، وزيادة الطبقة الشمعية، وزيادة عدد طبقات البشرة وعدد خلايا النسيج الوسطى (الميزوفيل)، وزيادة محتوى الألياف، وزيادة تمثيل الفينولات ضمن غيرها من مركبات الأيض الثانوية.

٤-يُصاحب زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون إنتاج الحلمات الصغيرة papillae وتراكم السيليكون فى مواقع اختراق المسببات المرضية للنبات (Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change ٢٠٠٧).

القيمة الغذائية

ازداد محصول الجزر بنسبة ٦٩٪، والفجل بنسبة ١٣٩٪، واللفت بنسبة ٧٢٪ عندما زرعت فى ظروف ارتفاع تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء. كما أحدثت زيادة تركيز الغاز نقصًا جوهريًّا فى محتوى كل الخضر من البروتين (ومعظم الأحماض الأمينية) وفيتامين C والدهون (ومعظم الأحماض الدهنية)، بينما أحدثت زيادة فى محتوى الخضر فى كل من السكر والألياف. وصاحبت زيادة تركيز الغاز — كذلك — نقصًا جوهريًّا فى محتوى الخضر من كثير من العناصر المعدنية الهامة (Azam وآخرون ٢٠١٣).

مراجع فى تأثير زيادة ثانى أكسيد الكربون بالهواء الجوى

- Kimball وآخرون (٢٠٠٢): الاستجابات الفسيولوجية للمحاصيل الزراعية لزيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى.
- Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change (٢٠٠٧): تجميع لخلاصات البحوث فى موضوع تأثير زيادة ثانى أكسيد الكربون والتغيرات المناخية على الإصابات المرضية.

الفصل التاسع

شد ملوثات البيئة فى الهواء والتربة

الأضرار التى تسببها ملوثات الهواء للمحاصيل الزراعية

أضرار الأوزون

منشأ الغاز وتركيزاته الضارة

يتكون الأوزون – أساسًا – نتيجة لتأثير الأشعة فوق البنفسجية على أكاسيد النيتروجين فى وجود الأكسجين وهيدروكربونات قابلة للتفاعل، والتى تنتج – أساسًا – من حالات الاحتراق غير التام؛ مثل عادم السيارات.

تُحْدِث تركيزات منخفضة من الأوزون – تتراوح من ٠,٠٥ – ٠,١٢ حجمًا فى المليون – لمدة ساعتين إلى أربع ساعات – أضرارًا كبيرة لمعظم الأصناف الحساسة من بعض المحاصيل الزراعية. ويتواجد هذا التركيز – صيفًا فى أجواء بعض المناطق من العالم، وفى بعض أجزاء من الولايات المتحدة.

أعراض التعرض للأوزون

إن الأعراض العادية للإصابة بالأوزون Ozone (O_3) هى ظهور بقع صغيرة غير منتظمة الشكل، لونها بنى داكن يميل إلى السواد، أو رصاصى فاتح يميل إلى البياض على السطح العلوى للأوراق. وتعد الأوراق الصغيرة جدًّا والمسنة قادرة على تحمل الأوزون، بينما تعد الأوراق التى أكملت نموها حديثًا شديدة الحساسية. وتظهر الإصابة غالبًا على قمة الورقة، وعلى امتداد حافتها. ومع اشتداد الإصابة قد تمتد الأعراض إلى السطح السفلى للورقة.

تعد الفاصوليا من أكثر المحاصيل حساسية وتضررًا من هذا الغاز؛ حيث قدر متوسط

الانخفاض فى محصول الأصناف الحساسة من جراء التعرض لتركيز ٠,٠٤- ٠,٠٦ حجمًا فى المليون من الغاز لمدة ٧ ساعات يوميًا بنحو ١٠٪-٢٦٪ كما يُحدث التعرض للغاز نقصًا فى معدل النمو النسبى للنباتات، ومعدل النمو المطلق، وإنتاج القرون، وتكوين العقد البكتيرية، ومحتوى النباتات من النيتروجين (عن Mersie وآخرين ١٩٩٠).

وفى البصل.. يسبب الأوزون احتراقًا فى حوافّ الأوراق، ربما يزداد — تدريجيًا — لينتشر فى بقية أنسجة الورقة. وتتوفر أصناف من البصل مقاومة للأوزون تُغلَق فيها الثغور سريعًا عقب ملامسة الغاز للخلايا الحارسة؛ الأمر الذى يمنع استمرار دخول الغاز إلى الورقة. وقد وجد أن هذه الصفة بسيطة وسائدة (عن Ball ١٩٨٥).

وفى الفاصوليا.. يؤدى تعرض النباتات للأوزون إلى زيادة شدة إصابتها بالفطرين *Sclerotinia sclerotiorum*، و*Botrytis cinerea*، وتتناسب شدة الإصابة طرديا مع تركيز الأوزون الذى تتعرض له النباتات (Tonneijck & Leone ١٩٩٣).

هذا.. إلا أن نتائج دراسات لاحقة (Tonneijck ١٩٩٤) تفيد أن الأوزون لا يلعب سوى دور ثانوى فى التأثير على الإصابة بالفطر *B. cinerea* فى الفاصوليا.

تقسيم محاصيل الخضر حسب حساسيتها للأوزون

من محاصيل الخضر الحساسة للأوزون: الهندباء، والشبت، والبروكولى، وكرنب بروكسل، والكوسة، والخس، والكرفس، والفراولة، والقاوون، والبصل، والقرع العسلى، والبطاطا، والسبانخ، والفجل (عن Hanan وآخرين ١٩٧٨)، والشبت والهندباء، والبطاطس، والطماطم والفاصوليا.

وبالمقارنة.. يعد الكرنب والخيار والباذنجان والبقدونس وبعض أصناف الطماطم من المحاصيل المتوسطة فى تحملها للغاز، بينما يعد الفلفل من المحاصيل الأكثر تحملاً له (عن Ball ١٩٨٥).

ويتبين من دراسات Agrawal وآخرين (١٩٩٣) أن نباتات الخيار كانت أكثر

تحملاً للأوزون فى الظروف الطبيعية للنمو (٢٨°م نهارًا، و١٨°م ليلاً) عنها فى الظروف التى ترتفع فيها حرارة الليل عن حرارة النهار (١٨°م نهارًا، و٢٨°م ليلاً).

وعلى خلاف ما تقدم بيانه بشأن حساسية الخس للأوزون، وجد Sakaki وآخرون (١٩٩٤) أن صنف الخس Red Fire كان أكثر تحملاً للغاز من سبعة أنواع نباتية أخرى تضمنت — من محاصيل الخضر — الفول الرومى، والطماطم، والفجل، والفاصوليا العادية.

فوائد التعرض للأوزون

لا يخلوا التعرض لتركيزات منخفضة من الأوزون من بعض التأثيرات المفيدة؛ فقد وجد — مثلاً — أنه يحفز نمو الطماطم والفاصوليا والفلفل. وفى القرع العسلى.. وجد Rajput & Ormord (١٩٨٦) أن معاملة النباتات بتركيز ٠,٤ ميكروليتر/لتر لمدة ٦ ساعات يوميًّا لمدة ثلاثة أيام أدى إلى اكتساب المناطق البيضاء المصفرة — التى توجد طبيعيًّا بأوراق القرع العسلى — لونًا أخضر، وإلى زيادة وزن النباتات الطازج والجاف.

ويذكر أن تعريض النباتات للأوزون يهيئها للإصابة بالفطر *Botrytis cinerea*، ولكن وجد فى مقابل ذلك أن التعريض للأوزون يجعل النباتات أكثر مقاومة لبعض مسببات الأمراض؛ إما من خلال تأثيرها على المسبب المرضى ذاته، وإما بجعل النباتات أقل صلاحية كعائل للمسبب المرضى؛ فمثلاً.. وُجد أن تعريض نباتات البسلة للأوزون بتركيز ٠,١٢ ميكروليتر/لتر قبل — أو بعد — عدواها بالفطر *Erysiphe polygoni*. f. sp. *pisi* — المسبب لمرض البياض الدقيقى— ثبط جوهريًّا من إصابتها بالفطر (Rusch & Laurence ١٩٩٣).

وللإطلاع على الأوزون وأضراره على الزراعة بوجه عام.. يراجع Ashmore & Marshall (١٩٩٩).

أضرار ثانى أكسيد الكبريت

منشأ الغاز وتركيزاته الضارة

يكثر غاز ثانى أكسيد الكبريت SO_2 فى المناطق الصناعية؛ حيث يتصاعد مع أبخرة المصانع، ويتحد الغاز مع بخار الماء فى الجو، مكونًا حامض الكبريتيك، الذى يتساقط بعد ذلك على صورة أمطار حامضية. وعندما يلامس الحامض أوراق لنباتات، فإنه يعمل على أكسدتها، محدثًا فقدًا واضحًا فى الكلوروفيل.

هذا.. وتتأثر الأنواع الحساسة للغاز بتركيز ٠,٠٥– ٠,٥ جزءًا فى المليون، ويحدث الضرر خلال ٨ ساعات من التعرض لهذا التركيز. وتقل الفترة التى يحدث خلالها الضرر مع زيادة التركيز؛ فيحدث الضرر فى خلال ٣ دقائق إذا كان تركيز الغاز ١–٤ أجزاء فى المليون. أما الأصناف والأنواع المقاومة، فلا يحدث أى ضرر بها إلا إذا تعرضت لتركيزات أكبر، مثل جزأين فى المليون لمدة ٨ ساعات، أو ١٠ أجزاء فى المليون لمدة ٣٠ دقيقة.

وعندما يكون تركيز الغاز أقل من المستويات المذكورة، فإن النبات يكون قادرًا على تحويل الغاز إلى مركبات أخرى غير ضارة به. هذا.. وتظهر أضرار الغاز فى تركيزات أقل فى حالة وجود ملوثات أخرى بالهواء الجوى؛ مثل ثانى أكسيد النيتروجين (Mudd ١٩٧٥).

أعراض التعرض لغاز ثانى أكسيد الكبريت والمحاصيل الحساسة له

يُحدث ثانى أكسيد الكبريت نوعين من الأعراض: حادة acute، ومزمنة Chronic. وتتميز الأعراض الحادة بظهور أنسجة ميتة بين العروق، أو على حواف الورقة. وقد تفقد المناطق الميتة لونها، أو تصبح عاجية، أو رصاصية، أو برتقالية، أو حمراء، أو بنية محمرة، أو بنية. ويتوقف ذلك على النوع النباتى والظروف الجوية. أما الإصابة المزمنة، فتتميز بظهور مناطق بلون بنى محمر، أو بيضاء على نصل الورقة.

هذا.. ونادرًا ما تظهر أعراض الإصابة على الأوراق الحديثة، بينما تكون الأوراق الكاملة النمو شديدة الحساسية.

تموت بفعل الغاز كل من الخلايا العمادية والخلايا الإسفنجية بالورقة، وتصبح الأجزاء المصابة منها ورقية الملمس والقوام، بينما تبقى — دائمًا — الأنسجةُ المجاورةُ للعروق خضراءَ اللون. ومع بقاء الإصابة محصورة بين العروق.. فإن الأعراض– فى النباتات الوحيدة الفلقة، ذات العروق المتوازية — تأخذ شكل التخطيط.

ومن أكثر محاصيل الخضر حساسية لغاز ثانى أكسيد الكبريت كل من البروكولى، وكرنب بروكسل، والهندباء، والخس، والبامية، والفلفل، والطماطم.

العوامل المؤثرة على الحساسية للغاز

عندما يكون تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء منخفضًا فإنه يذوب فى الرطوبة الحرة داخل الورقة، مكونًا كبريتيت sulfites، تتحول بدورها إلى الكبريتات غير الضارة. ولكن إذا تراكمت الكبريتيت بسرعة أكبر من سرعة تحولها إلى كبريتات.. فإن نفاذية الأغشية الخلوية سرعان ما تتأثر، وتفقد الخلايا ماءها.

وتكون النباتات ذات الأوراق الغضة النشطة فسيولوجيًّا أكثر من غيرها تأثرًا بالغاز؛ حيث يمكن أن تُضارّ بشدة لدى التعرض لتركيز ٠,٥ جزءًا فى المليون لمدة أربع ساعات، أو لتركيز ٠,٣ جزءًا فى المليون لمدة ٢٤ ساعة (عن Ball ١٩٨٥).

تؤدى الإضاءة الشديدة إلى زيادة الأضرار التى يحدثها الغاز للأنسجة النباتية، ويلزم أن يتعرض النبات لحد أدنى من الإضاءة — قبل تعرضه للغاز، وأثناء ذلك وبعده — لتظهر أعراض التسمم من الغاز. ففى الصباح الباكر يجب أن تتعرض النباتات للضوء لمدة ثلاث ساعات قبل أن تصبح حساسة لأضرار الغاز. وإذا تعرضت النباتات لفترة قصيرة من الظلام — ولو لمدة ١٥ دقيقة فى منتصف النهار قبل التعرض للغاز — يلزم بَعْدَها التعرض للإضاءة ساعة كاملةً؛ لتصبح النباتات حساسة للغاز من جديد. كذلك

يلزم مرور ثلاث ساعاتٍ من الإضاءة – تقريبًا – بَعْدَ التعرض للغاز؛ لكي يحدث الضرر وتظهر الأعراض فيما بعد.

ويؤدى تعرض النباتات للأشعة تحت الحمراء إلى انخفاض محتواها من الـ sulfhydryl، ويرتبط ذلك بزيادة قدرتها على تحمل الغاز. وربما أمكن – مستقبلاً – تعريض نباتات البيوت المحمية لفترات محدودة من الأشعة تحت الحمراء خلال الفترات التى يرتفع فيها تركيز الغاز؛ بهدف حمايتها من التعرض لأضراره.

أضرار نترات البيروكسى اسيتيل

منشأ الغاز وتركيزاته الضارة

تُنتَج نترات البيروكسى أسيتيل Peroxyacetyl nitrate (اختصارًا: PAN) – مثل الأوزون – نتيجة لتأثير الأشعة فوق البنفسجية على أكاسيد النيتروجين فى وجود الأكسجين والمركبات الهيدروكربونية القابلة للتفاعل التى توجد فى عادم السيارات وغيره من نواتج الاحتراق غير الكامل.

وتؤثر نترات البيروكسى اسيتيل فى النباتات فى تركيزات منخفضة تصل إلى أجزاء فى البليون. ويلاحظ أن تركيز الغاز يتأرجح بين الارتفاع نهارًا، والانخفاض – أو حتى الاختفاء – ليلاً.

أعراض التعرض للغاز والمحاصيل الحساسة له

تؤثر نترات البيروكسى أسيتيل على السطح السفلى للأوراق التى أكملت نموها حديثًا، مسببة اكتسابها للون البرونزى أو الفضى فى المناطق الحساسة. وتصبح قمة أوراق النباتات العريضة الأوراق حساسة للـ PAN بعد ظهور الورقة بنحو خمسة أيام. ولا يزيد عدد الأوراق الحساسة على الساق عن أربع أوراق فى الوقت الواحد، نظرًا لأن سمية PAN تحدث والأنسجة فى مرحلة معينة من التكوين، ولا تصبح كل أنسجة الورقة حساسة إلاّ إذا استمر تعرضها للمركب.

تتشوه الأوراق المصابة وتلتفّ إلى أسفل، وقد تتحلل أنسجة الورقة بالقرب من قمتها، وتأخذ الأنسجة المتحللة لونًا أبيض أو رماديًّا. وتتباين الأعراض بين التلون الفضى، والمظهر الزجاجى، والمظهر البرونزى، مع موت السطح السفلى للأوراق المتأثرة بالغاز.

ومن أكثر محاصيل الخضر حساسية لـ PAN: الكرفس، والهندباء، والخس، والكنتالوب، والفلفل، والطماطم، والفاصوليا. وبالمقارنة.. فإن البروكولى والكرنب والقنبيط والخيار والبصل تعد من المحاصيل الأكثر تحملاً له.

العوامل المؤثرة على الحساسية للغاز وظهور أعراض المميزة

ترتبط قابلية الأوراق للإصابة بالغاز بعمر ونضج خلاياها.. فمع تمدد الورقة.. فإنها تنضج أولاً بالقرب من قمتها، وفى النهاية عند قاعدتها؛ ولذا.. فإن ظهور الأعراض على صورة شرائط من الأنسجة المتأثرة بالغاز يعد أمرًا عاديًا.

تظهر هذه الحزم - أو الشرائط - فى البداية - فى أطراف الأوراق العليا، وفى وسط الأوراق الوسطى، وقرب قاعدة الأوراق السفلى، وخاصة عندما يكون النبات قد تعرض لجرعة واحدة من الغاز. ولكن مع استمرار التعرض للغاز عدة مرات فإن أنسجة جديدة من مختلف الأوراق تتأثر به يوميًا؛ مما يؤدى - فى نهاية الأمر - إلى ظهور الأعراض على كل نصل الورقة.

أضرار أكاسيد النيتروجين

يرمز لأكاسيد النيتروجين Nitrogen Oxides بالرمز NO_x؛ حيث ترمز x إلى عدد ذرات الأكسجين المرتبطة بذرة النيتروجين. ومن أكثر أكاسيد النيتروجين إضرارًا بالنباتات أكسيد النيتريك NO، وNO_2.

من أكثر مصادر أكاسيد النيتروجين عوادم السيارات وكل المدفئات أو المصانع التى تعتمد على حرق الوقود الأحفورى كمصدر للطاقة، وبعض الصناعات؛ مثل صناعة حامض النيتريك.

تتميز أضرار أكاسيد النيتروجين بظهور بقع بيضاء أو بنية اللون فى وسط الأوراق المسنة بين العرق ثم سقوطها. وقد تكتسب الأوراق مظهرًا شمعيًّا فى بعض الأحيان.

تحدث الأضرار لدى التعرض للغاز بمتوسط تركيز أسبوعى قدره ٢٥ جزءًا فى كل ١٠٠ مليون جزء. وأكثر النباتات تعرضًا لأضرار أكاسيد النيتروجين هى الزراعات المحمية التى تستخدم فيها المدفئات التى تعتمد على الوقود الأُحفورى فى التدفئة، أو فى زيادة تركيز الغاز فى جو الصوبة.

وتعد الطماطم والخس من أكثر محاصيل الخضر حساسية لأكاسيد النيتروجين.

أضرار فلوريد الأيدروجين

تتلقى النباتات الفلوريدات من خلال كل من النموات الخضرية والجذور. ومن أكثر مصادر التلوث الهوائى صناعات تنقية الألومنيوم وعديد من الصناعات الأخرى، وخاصة مصانع الطوب، ومصانع الفوسفات، ومصانع الصلب. أما تلوث التربة، فيأتى — غالبًا — من سماد السوبر فوسفات والمياه الغنية بالفلوريدات.

وتظهر أعراض أضرار غاز فلوريد الأيدروجين Hydrogen Fluoride (وهو أكثر الفلوريدات شيوعًا) فى البداية — عادة — فى قمة الأوراق، ثم تحترق حواف الأوراق. وتصبح المناطق الميتة بنية ضاربة إلى الحمرة، أو تكتسب لونًا رماديًّا فاتحًا، وقد تسقط المناطق المتحللة.

وتتبع الفلوريداتُ الممتصة عن طريق الجذور مسار الهواء المفقود بالنتح؛ لتصل إلى قمم الأوراق وحوافّها؛ لتبقى فيها وتحدث أضرارها.

وتُضار النباتات الحساسة لدى التعرض لتركيزات منخفضة جدًّا من المركب، تصل فى بعض النباتات إلى ٠,١ جزءًا فى البليون، ولكن يشترط لظهور الضرر استمرار التعرض للمركب لمدة خمسة أسابيع؛ حيث تقوم النباتات بتركيزه فى أنسجتها، وخاصة فى أطراف الأوراق وحوافها.

ولا يعد انفتاح الثغور ضروريًّا لدخول الفلوريدات إلى أنسجة الورقة؛ حيث يبدو أنها تدخل مباشرة من خلال الأديم.

ومن أكثر محاصيل الخضر حساسية لفلوريد الأيدروجين البطاطا، بينما يعد الخس، والبصل، والفلفل، والفراولة، والطماطم من المحاصيل المتوسطة التحمل. ومن المحاصيل التى تتحمل الفلوريدات: البروكولى، وكرنب بروكسل، والكرنب، والقنبيط، والكرفس، والخيار، والباذنجان، والبصل، والبطاطس.

أضرار الكلور

تكون أعراض الإصابة بالكلور Chlorine — عادة — حادة، وتشبه أعراض الإصابة بثانى أكسيد الكبريت؛ فتظهر متحللة وبيضاء بالنموات الخضرية. ويكون التحلل على حواف الأوراق فى بعض الأنواع، ومنتشرًا بنصل الورقة فى أنواع أخرى.

أضرار الإثيلين

من أهم مصادر التلوث بالإثيلين عوادم السيارات ومدفئات الصوبات التى تعتمد على الاحتراق، وخاصة عندما يكون الوقود كثير الشوائب أو يكون احتراقه غير كامل. كذلك يكون الغاز مختلطًا بعوادم مصانع البوليثيلين.

ويعد الإثيلين من المنتجات الطبيعية للتنفس، وخاصة فى الأنسجة المجروحة، والمصابة بالأمراض، كما ينتج بصورة طبيعية عند نضج كثير من الثمار فى المخازن؛ مما يضر بالثمار المجاورة لها فى نفس المخزن؛ حيث يُسرع الإثيلين من نضجها، ثم يؤدى إلى تدهورها (عن Ball ١٩٨٥).

ومن أهم أضرار الإثيلين قصر السلاميات، وسقوط البراعم والأوراق، وتدلى الأوراق لأسفل. كما يُسرع الإثيلين الشيخوخة المبكرة، فى صورة تدلٍ بالأوراق السفلى، مع سقوط الأزهار، وسرعة نضج الثمار.

وتزداد مشكلة الإثيلين بوجه خاص فى الزراعات المحمية.

ومن أكثر محاصيل الخضر حساسية لغاز الإثيلين: الخيار، والبطاطا، والطماطم. ومن المحاصيل المتوسطة التحمل: البروكولى، والكرنب، والقنبيط، والخس. هذا.. بينما تعد الهندباء والبصل من المحاصيل التى تتحمل الغاز.

أضرار الأمونيا

تحدث الأضرار الحقلية بالأمونيا فى صورة تغيرات فى لون الصبغات النباتية بالأنسجة الخارجية. وقد تصبح الأوراق الخارجية الجافة فى البصل الأحمر مخضرة أو سوداء، وفى البصل الأصفر والبنى بلون بنى داكن.

أضرار حامض الأيدروكلوريك

تظهر الأضرار الحادة لغاز حامض الأيدروكلوريك (HCl) فى شكل فقدان اللون بالأنسجة، كما يظهر احتراق بحواف أوراق الخس، والهندباء، والشيكوريا، ويمتد — تدريجيًّا داخل الورقة التى سرعان ما تجف، بينما يظهر لون برونزى بين العروق فى ورقة الطماطم.

مصادر إضافية

يقدم Wellburn (١٩٩٤) عرضًا حول أضرار ملوثات الهواء وتأثيراتها على النباتات.

ولمزيد من التفاصيل الخاصة بالمركبات التى تلوث الهواء الجوى وأضرارها على النباتات بوجه عام.. يراجع Heggestad & Heck (١٩٧١)، و Mudd & Kozlowoski (١٩٧٥)، و Ormrod وآخرين (١٩٧٦).

التأثير التداؤبى لملوثات الهواء

يؤدى وجود أكثر من واحد من ملوثات الهواء معًا — وهو الأمر الشائع والأكثر

احتمالاً فى الظروف الطبيعية — إلى إحداث أضرار تزيد عن مجموع أضرار أىٍّ منها منفردًا؛ أى إن وجودها معا يزيد من أضرارها، وهو ما يعرف بالتأثير التداؤبى Synergistic Effect. يحدث ذلك — مثلاً — عند وجود NO_2 وثانى أكسيد الكبريت معًا، وخاصة أن كليهما ينتج عند احتراق الوقود الأُحفورى. ويحدث الضرر فى هذه الحالة عند التعرض للغازين بتركيز ٥٠ — ١٠٠ جزء فى كل ١٠٠ مليون جزء لمدة ساعة واحدة إلى ثلاث ساعات.

كذلك قد تحدث حالات مماثلة يتواجد فيها الأوزون مع ثانى أكسيد الكبريت، أو مع ثالث أكسيد الكبريت، أو فلوريد الأيدروجين (عن Commonwelath Mycological Institute ١٩٨٣).

كيفية إحداث ملوثات الهواء لأضرارها فى النباتات

العوامل المؤثرة فى وصول الملوثات إلى داخل النبات من خلال الثغور

يتحكم فى وصول الملوثات إلى داخل النبات عدة عوامل خارجية وداخلية. ومن أهم العوامل الخارجية الضوء؛ الذى يؤثر على انفتاح وانغلاق الثغور التى تمر منها الملوثات، باستثناء الفلوريدات وأكاسيد النيتروجين. ويرتبط وصول الملوثات إلى داخل النبات ارتباطًا وثيقًا بانفتاح الثغور. وكلما ازدادت شدة الإضاءة ازداد انفتاح الثغور وازداد الضرر الناشئ عن الملوثات تبعًا لذلك. وقد لوحظ أن الضرر يزداد عند التعرض لملوثات الهواء فى منتصف النهار عما فى الأوقات الأخرى، وقد ارتبط ذلك بشدة الإضاءة؛ ومن ثم بانفتاح الثغور.

كذلك تؤثر العوامل التى تُسهم فى الشد الرطوبى فى النباتات فى انفتاح الثغور وانغلاقها. وقد وجد أن نقص الرطوبة الأرضية أو الرطوبة النسبية يُنقص من أضرار ملوثات الهواء — مثل الأوزون وثانى أكسيد الكبريت — كما وجد أن ذلك يرتبط بانغلاق الثغور.

ويمكن أن تؤثر سرعة الرياح على وصول ملوثات الهواء إلى داخل النبات من خلال تأثيرها على حركة الثغور.

كما وجد أن التركيزات المنخفضة من الأوزون في الهواء تؤدى إلى انغلاق الثغور؛ وبذا.. فإنها تحمى النباتات من التركيزات الأعلى من الأوزون التي يمكن أن تُحدث بها أضرارًا شديدة (عن Tibbetts & Kobriger ١٩٨٣).

ولدرجة الحرارة تأثيرات هامة على استجابة النباتات للملوثات التي تتكون بفعل تأثير الأشعة فوق البنفسجية على مركبات أخرى ملوثة للهواء؛ مثل الأوزون ونترات البيروكسى أسيتيل. فمثلا.. وجد أن السبانخ والخس الرومين والهندباء ازدادت مقاومتها لأضرار هذه الملوثات بمقدار ثمانية أضعاف، عندما تعرضت لحرارة ١٣°م قبل التعرض للملوثات؛ مقارنة بالأضرار التي حدثت لها عندما ظلت نامية في حرارة ٢٤°م. وفى حالات أخرى وجد أن حساسية النباتات للملوثات انخفضت عندما عُرضت — أيامًا قليلة — لحرارة ٣٠°م أو أعلى من ذلك.

ولهذه التغيرات في حساسية النباتات للملوثات علاقة بانفتاح وانغلاق الثغور؛ إذ إن تعريض النباتات لدرجة حرارة تزيد أو تقل عن الدرجة المناسبة للنمو — قبل تعرضها للملوثات — يؤدى إلى انغلاق الثغور جزئيًا.

ومن المعروف أن زيادة تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الهواء يسبب انغلاقًا جزئيًا للثغور، وتلك حقيقة يمكن الاستفادة منها في البيوت المحمية إذا ما تلوث هواؤها.

ويبدو أن النباتات المسمَّدة جيدًا — والتي يكون نموها قويًا وسريعًا — تكون أكثر حساسية لملوثات الهواء من النباتات التي تعانى نقصًا في واحد أو أكثر من العناصر المغذية (عن Ball ١٩٨٥).

وترتبط العوامل الداخلية المؤثرة في وصول ملوثات الهواء إلى داخل النبات — كذلك — بالثغور. ومن هذه العوامل أن تكون الثغور مكتملة التكوين وفعّالة في حركتها؛

ولذا.. فإن الأوراق الصغيرة جدًّا – التى لا تكون ثغورها مكتملة وفعّالة – لا تتعرض لأضرار الملوثات. ومع اكتمال تكوين أنسجة الورقة فإنها تصبح أكثر حساسية. ويزداد الضرر فى الأنسجة الغضة.

كذلك تُقلل الشعيرات الورقية من انتشار الملوثات خلال الثغور؛ وبذا.. فإنها تزيد من مقاومة النباتات لها.

كما وجد أن كثافة الثغور ترتبط – إيجابيًّا – بأضرار ملوثات الهواء التى تنفذ إلى داخل النبات بسرعة أكبر عند زيادة عدد الثغور. ويؤيد ذلك العامل أن الأنسجة التى تخلو من الثغور أو تحتوى على ثغورٍ قليلةٍ جدًّا – مثل أجزاء الزهرة، والسيقان، والجذور، والثمار – لا تحدث بها أية أضرار مباشرة من جرّاء التعرض لملوثات الهواء.

التفاعلات الكيميائية الحيوية

تُحدث المواد المؤكسدةُ: الأوزون، والـ PAN، وأكاسيد النيتروجين أضرارَها – غالبًا – من خلال أكسدتها لمكونات الأغشية البلازمية؛ الأمر الذى يغير من نفاذيتها؛ وبذا.. تتأثر حركة انتقال الماء والأيونات من الخلية وإليها؛ ويدل على ذلك المظهر المائى للأنسجة بعد تعرضها لتلك الملوثات، والذى يكون مرده إلى تراكم الماء فى المسافات البينية.

أما الملوثان الحامضيان: ثانى أكسيد الكبريت، وفلوريد الأيدروجين، فإنها تكون حامض الكبريتوز، وحامض الأيدروفلوريك – على التوالى – فى الغشاء المائى. ويبدو أن هذه الأحماض تنتشر خلال الأغشية البلازمية إلى داخل الخلايا؛ حيث تغير من التوازن الأسموزى عبر الغشاء البلازمى؛ وبذا تتأثر حركة انتقال الماء والأيونات عبر الغشاء، أو تؤثر تأثيرًا سامًّا على الإنزيمات؛ لتحدث خللاً بأيض الخلية؛ فمثلاً.. تثبط الفلوريدات نشاط إنزيمات البيروكسديز peroxidase والسيتوكروم أوكسيديز cytochrome oxidase.

ويستدل من فحص الأنسجة المتأثرة بملوثات الهواء بالميكروسكوب الأليكترونى على أن بلزمة الخلايا يصاحبه ظهور أضرار بالغشاء البلازمى؛ وتورمات بالبلاستيدات الخضراء، وتبلور غير عادى بالبلاستيدات.

طبيعة الضرر

يبدأ ظهور أعراض ملوثات الهواء عندما يحدث الضرر فى عددٍ كافٍ من الخلايا. وتُحْدِث الملوثاتُ المختلفةُ أضرارَها فى أنسجة مختلفة؛ فمثلاً يضر الأوزون بالخلايا العمادية، ويظهر التحلل فقط فى السطح العلوى للورقة. أما نترات البيروكسى أسيتيل PAN فإنها تؤدى إلى انفصال البشرة السفلى للورقة عن خلايا النسيج الإسفنجى الذى يليها؛ وبذا تأخذ الورقة مظهرًا برّاقًا. ويُحدث ثانى أكسيد الكبريت وفلوريد الأيدروجين — دائمًا — انهيارًا فى الخلايا بجانبى الورقة، ولكن التحلل necrosis يتناثر — عادة — على نصل الورقة فى حالة ثانى أكسيد الكبريت، بينما يتركز فى قمة وحواف الورقة فى حالة فلوريد الأيدروجين (عن Tibbitts & Kobriger ١٩٨٣).

تراكم الملوثات بمحاصيل الخضر

وُجدت — فى منطقة صناعية باليونان — تراكمات عالية من العناصر الثقيلة: Pb، و Cr، و Cd بالخضر الورقية (الكرنب والخس والكرات والهندباء)، بينما كانت الخضر الجذرية (الجزر) أكثر كفاءة فى تراكم الكادميم من التربة عن غيره من العناصر الثقيلة (Voutsa وآخرون ١٩٩٦).

كما جُمعت عينات من الخس والفجل من حقول قريبة من ثلاثة طرق مرورية بمناطق زراعية وصناعية فى مصر. كانت معظم الأراضى فى المناطق الصناعية ملوثة بوضوح بكل من الرصاص والزنك والكادميم والنحاس والنيكل والحديد، مقارنة بتلوث التربة فى المناطق الزراعية. ولقد تبين أن الأجزاء المأكولة من الخس تراكم فيها كميات أكبر عما تراكم فى جذور الفجل. وكان أكثر تراكم للعناصر فى عينات الخس التى

جُمعت من مناطق قريبة من الطرق المزدحمة بالمرور، حيث بلغ تركيزها (بالجزء فى المليون) ٥٣,٢ للرصاص، و٣٠٩ للزنك، و ١,٠١ للكادميم، بينما كان تركيز تلك العناصر فى جذور الفجل ١٧,٢ ، و٢٦٧ ، و٠,٧ ، على التوالى. وقد توقف مدى تراكم العناصر الثقيلة فى الأنسجة النباتية على مدى ازدحام المرور بالطرق، وعلى المسافة من الطريق. كما تبين أن تلوث الخضر بالعناصر الثقيلة يحدث من خلال الأوراق والجذور على حد سواء، إلاّ أن امتصاصها عن طريق الأوراق كان أكثر وضوحاً فى المواقع القريبة من مصادر انبعاث التلوث (Hassan & Gewifel ١٩٩٨).

وفى دراسة أخرى ... جمعت عينات من التربة ونباتات الفراولة والبصل والطماطم والخس والخيار من زراعات متاخمة لكل من شركة أبو زعبل للأسمدة وشركة البوتاسيوم والألومنيوم وشركة السيراميك والبورسلين، وحُلِّلت للتعرف على محتواها من كل من عناصر: النحاس والزنك والمنجنيز والنيكل والرصاص والكادميم والكوبالت والكروم. وقد تبين احتواء عينات التربة على تركيزات عالية من كل من النحاس والزنك والمنجنيز والرصاص مقارنة بالتركيزات فى التربة الزراعية البعيدة عن تلك المصانع. كذلك كان تركيز الرصاص والكادميم فى العينات النباتية أعلى من تركيزهما فى عينات النباتات التى جمعت من مناطق بعيدة عن تلك المصانع، بينما كان تركيز الزنك والنحاس والمنجنيز فى المدى الطبيعى لها (Eissa & El-Kassas ١٩٩٩).

تأثير ملوثات البيئة على بعض محاصيل الخضر

الطماطم

ملوثات الهواء

تكثر المركبات التى تلوث الهواء الجوى Air Pollutants، وتزداد حدتها فى المدن الكبرى والمناطق الصناعية، وهى تنتج عن احتراق المركبات الهيدروكربونية المستخدمة كمصدر للطاقة. وتحدث هذه المركبات أعراضًا مميزة على نباتات الطماطم، والتى تلاحظ

بوضوح فى الزراعات المكشوفة الموجودة بالقرب من المدن والمناطق الصناعية، وفى الزراعات المحمية التى تحرق فيها المركبات الهيدروكربونية بغرض التدفئة. كما قد تظهر فى الزراعات المحمية أنواع أخرى من الأضرار التى تسببها مركبات تنطلق من الأغشية البلاستيكية المستخدمة فى تغطية الصوبات. وفيما يلى عرض لأهم أنواع المركبات التى تلوث الهواء الجوى، والأضرار التى تحدثها على نباتات الطماطم.

ثانى أكسيد الكبريت Sulphur dioxide (SO_2)

عند تعرض نباتات الطماطم لتركيزات منخفضة من غاز ثانى أكسيد الكبريت لفترة طويلة، تظهر عليها بقع صفراء. ويحدث ذلك فى الحقول المجاورة للمناطق الصناعية غالباً. ويتراوح أقصى تركيز يمكن أن تتحمله نباتات الطماطم- دون أن تظهر عليها أية أعراض غير عادية- من ٠,٢- ٠,٣ حجماً فى المليون (vpm). أما إذا تعرضت الطماطم لتركيزات مرتفعة جداً من الغاز لفترة قصيرة- وهو أمر نادر الحدوث- فإن الأعراض تكون على شكل اصفرار حاد، ثم تحلل بأنسجة الورقة فيما بين العروق.

أكاسيد النيتروجين Oxides of Nitrogen

تنتج أكاسيد النيتروجين من احتراق وقود السيارات؛ ولذا لا تلاحظ أعراض الأضرار التى تحدثها إلا بالقرب من الطرق الرئيسية المزدحمة. ويؤدى التعرض لتركيزات منخفضة منها (حجم واحد إلى حجمين فى المليون) لفترة طويلة إلى انحناء حواف الوريقات لأسفل، مع ازدياد دكنة الأوراق، نظراً لزيادة محتواها من الكلوروفيل، بينما يُحدث التعرض لتركيزات مرتفعة منها (٢-١٠ أحجام فى المليون) لمدة قصيرة (١- ٢ساعة) بقعاً متحللة شبيهة بتلك البقع التى يحدثها التعرض لتركيزات مرتفعة من ثانى أكسيد الكبريت.

الإثيلين Ethylene والبروبيلين Propylene

يعد الإثيلين من منظمات النمو، كما أنه يوجد فى الهواء الجوى بتركيز ٠,١ حجم

فى المليون، إلا أن التركيز قد يرتفع فى المناطق الصناعية إلى ٠,٥ حجم فى المليون، وفى البيوت المحمية إلى حجم واحد فى المليون. ويؤدى التعرض للتركيزات المرتفعة من الغاز– وهو أمر نادر الحدوث– إلى انحناء الأوراق لأسفل leaf epinasty. وأكثر الأضرار التى يحدثها الغاز شيوعًا، هى: بطء النمو، وسقوط الأزهار بدون عقد. أما أضرار البروبيلين، فلا تشاهد إلا فى الزراعات المحمية التى تدفأ بالبروبين Propane التجارى عندما يحدث تسرب من أجهزة التدفئة. ولا تظهر الأعراض إلا عند التعرض لتركيزات مرتفعة من الغاز.

الأوزون

تأثر محصول الطماطم سلبياً بكل من التلوث الهوائى بالأوزون والشدّ الرطوبى، حيث انخفض المحصول الكلى بنسبة ٤٨٪، و٢٩٪ فى حالتى الشدّ– على التوالى– وكان ذلك مصاحباً بانخفاض فى معدل البناء الضوئى بلغت نسبته ١٧٪، و٢١٪، على التوالى. وأدى الجمع بين حالتى الشدّ إلى مزيد من التأثير السلبى على كل من المحصول الكلى ومعدل البناء الضوئى (Hassan وآخرون ١٩٩٩).

وقد وجد أن زيادة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون عن التركيز الطبيعى (٣٧٥ ميكرومول/مول) إلى ٤٥٠، أو ٥٢٥،أو ٦٠٠، أو ٦٧٥ ميكرومول/مول تؤدى إلى تجنب أضرار زيادة تركيز الأوزون إلى ٨٠ نانومول/مول على محصول الثمار فى الطماطم (Reinert وآخرون ١٩٩٧).

سمية المركبات التى تدخل فى صناعة البلاستيك

تحدث بعض المركبات التى تدخل فى صناعة البلاستيك بعض الأضرار فى زراعات الطماطم المحمية التى تظل فيها البيوت مغلقة لفترة طويلة. وتنطلق هذه المركبات من البلاستيك نفسه، وأكثرها شيوعًا الأضرار التى تحدثها مركبات البيوتيل فثاليت butylphthalates التى تدخل فى صناعة شرائح البولى فينايل كلورايد (PVC)

المرنة. ويطلق على مركبات كهذه اسم plasticizers، وتسمى الأضرار التى تحدثها باسم plasticizer toxicity. كما يوجد عديد من مركبات البيوتيل فثاليت التى تختلف فى وزنها الجزيئى، وتختلف تبعًا لذلك فى سرعة تطايرها، حيث تكون أسرع تطايرًا كلما صغر وزنها الجزيئى. وتدخل هذه المركبات إلى الأوراق عن طريق الثغور، حيث توقف تمثيل الكلوروفيل، وتتلون النباتات المصابة بلون أخضر ضارب إلى الصفرة. ومع ضعف أو توقف عملية البناء الضوئى تصبح الأوراق رقيقة وشديدة الحساسية لنقص الرطوبة، حيث تنهار بسرعة، وتجف، وتأخذ الأنسجة المصابة مظهرًا ورقيًّا بلون أبيض، أو بنى باهت (Grimbly ١٩٨٦).

وبينما تتأثر الطماطم سلبيًا – كغيرها من النباتات – بالتركيزات العالية من مختلف ملوثات الهواء، فإن دراسات Pandey & Agrawal (١٩٩٤) أوضحت أن تعريض نباتات الطماطم لتركيزات منخفضة من ملوثات الهواء (NO_2 بتركيز ٠,٢ جزءًا فى المليون، أو SO_2 بتركيز ٠,١ جزءًا فى المليون، أو كلاهما معًا بنفس هذين التركيزين) بمعدل ٤ ساعات يوميًّا لمدة ٥٠ يومًا أحدث زيادة معنوية فى النمو الخضرى للنباتات، ولكن ذلك كان على حساب نموها الثمرى. ويبدو أن النباتات استفادت من تلك الملوثات – كمغذيات – عند هذه التركيزات المنخفضة.

ملوثات التربة

الألومنيوم

تتسمم نباتات الطماطم من جرّاء تعرضها لعنصر الألومنيوم – حتى فى تركيزاته المنخفضة – سواء أحدث ذلك فى التربة (فى الأراضى الحامضية)، أم فى المزارع اللاأرضية التى تحتوى محاليلها المغذية على شوائب من الألومنيوم. وقد وجد Simon وآخرون (١٩٩٤أ) أن وجود الألومنيوم فى المحاليل المغذية بتركيز ١٠، أو ٢٥، أو ٥٠ ميكرومولا أدى إلى نقص امتصاص نباتات الطماطم لعناصر النحاس، والمنجنيز،

والموليبدنم، والزنك، والبورون، والحديد، وذلك مقارنة بمعاملة الكنترول التى خلت من الألومنيوم. وأدت جميع تركيزات الألومنيوم إلى نقص النمو الجذرى ومحتوى الساق والأوراق من عناصر الكالسيوم، والبوتاسيوم، والمغنيسيوم، والمنجنيز، والحديد، والزنك، مع زيادة تراكم عناصر الفوسفور، والموليبدنم، والنحاس فى الجذور، وتثبيط انتقالها إلى السيقان والأوراق.

وقد صاحب زيادة تركيز الألومنيوم فى المحاليل المغذية (فى الحدود الموضحة أعلاه) نقصًا فى معدل تبادل الغازات إلى نحو ثُلث إلى نصف المعدل الطبيعى، ولكن لم يتأثر محتوى الأوراق من الكلوروفيل (Simon وآخرون ١٩٩٤ب).

الكادميوم

يُحدِث التسمم بالكادميوم — كذلك تغيرات كثيرة فى نباتات الطماطم. فعندما أضيف العنصر — فى صورة كلوريد الكادميوم — إلى المحاليل المغذية فى المزارع اللاأرضية، وجد أن محتوى الأوراق من كلوروفيل أ، وكلوروفيل ب، والكلوروفيل الكلى — وبدرجة أقل — المواد الكاروتينية ينخفض مع زيادة تركيز الكادميوم فى المحلول المغذى من صفر إلى ٣٠ مجم /لتر، ومع زيادة مدة التعرض للعنصر خلال فترة تسجيل القياسات التى دامت ٢٨ يومًا. كذلك ازدادت نسبة كلوروفيل أ إلى كلوروفيل ب بزيادة تركيز العنصر (Gil وآخرون ١٩٩٥أ). وعندما قيس المحتوى البروتينى للنباتات بعد ٢٨ و٣٥ يومًا من تعرضها للعنصر، وجد أن محتوى الأوراق من الإنزيم روبسكو Rubisco (وهو ribulose biphosphate carboxylase)، والبروتينات الذائبة الكلية انخفض مع الوقت، وبزيادة تركيز العنصر، بينما ازدادت نسبة الروبسكو إلى البروتينات الذائبة الكلية. كذلك ازداد تركيز الفوسفور فى النباتات — مع الوقت — بزيادة تركيز الكادميوم فى المحلول المغذى، بينما انخفض تركيز كل من النحاس، والمنجنيز، والزنك تحت نفس الظروف (Gil وآخرون ١٩٩٥ب).

الزرنيخ

يعتبر الزرنيخ من العناصر التى تلوث البيئة؛ بسبب كثرة استعمال زرنيخات الصوديوم كمبيد حشرى. وعندما دُرِس التلوث بالعنصر على نباتات الطماطم — بإضافته إلى المحاليل المغذية فى المزارع اللاأرضية بتركيزات تراوحت بين صفر، و ١٠ مجم/لتر، وجد أن العنصر أحدث نقصًا كبيرًا وصل — فى التركيز العالى — إلى ٧٧٪ بالنسبة للوزن الطازج للنمو الخضرى، وإلى ٨٠٪ بالنسبة للمحصول. وقد ازداد تركيز عنصر الزرنيخ فى جذور النباتات مع الوقت، ولكنه لم يختلف كثيرًا بزيادة تركيز العنصر فى المحلول المغذى بين جزأين وعشرة أجزاء فى المليون. وعلى الرغم من أن تركيز الزرنيخ ازداد فى بادئ الأمر — فى كل من السيقان، والأوراق، والثمار — مع زيادة تركيز العنصر فى المحلول المغذى، إلا أن انتقال العنصر إلى أعلى النبات توقف بعد ذلك — عند تركيز ١٠ مجم/ لتر- بسبب إحداث هذا التركيز المرتفع لأضرار فى الأغشية الخلوية بالجذور؛ الأمر الذى ترتب عليه عدم وصول تركيز العنصر فى الثمار إلى المستوى الضار للإنسان (Carbonell Barrachina وآخرون ١٩٩٥أ و١٩٩٥ب).

البطاطس

يعتبر غاز الأوزون من أهم ملوثات الهواء، ولكن غاز ثانى أكسيد الكبريت قد يلعب دورًا مهمًا كذلك فى الإضرار بنباتات البطاطس. وتكون الأعراض فى صورة اصفرارٍ عامٍ، وتلونٍ برونزىٍ، وتحللٍ بالأوراق، يترتب عليها توقف مبكر للنمو النباتى ونقص فى المحصول. تبقى الأوراق الميتة عالقة بالنبات. ويبدأ التحلل فى خلايا النسيج العمادى للورقة، ثم يتقدم نحو النسيج الإسفنجى التالى له.

وتوجد اختلافات كبيرة بين أصناف البطاطس من حيث مدى تحملها للأوزون.

وقد أدى تعريض نباتات البطاطس لغاز ثانى أكسيد الكربون SO_2 بتركيز ٣٠٠ نانوليتر/لتر لمدة ستة أسابيع — مع توفر الرطوبة الأرضية — إلى ظهور أعراض التسمم

على النموات الخضرية، والتأثير سلبيًّا على نمو الدرنات، ولكن هذا التأثير لم يكن جوهريًّا تحت ظروف نقص الرطوبة الأرضية (Ma & Murray ١٩٩١). كذلك أثر تعريض نباتات البطاطس لخليطٍ من غازى ثانى أكسيد الكبريت، وثانى أكسيد النيتروجين NO_2 بتركيز ١١٠ نانوليترات لكل منهما/لتر.. أثر سلبيًّا على النمو الخضرى؛ وذلك فى صورة نقص فى الوزن الطازج، والوزن الجاف للنبات، ونقص فى المساحة الورقية خلال أيام قليلة من بدء المعاملة (Petitte & Ormrod ١٩٩٢).

الثوم

وُجد أن لنبات الثوم قدرة عالية جدًّا على امتصاص الكادميوم من المحاليل المغذية وتجميعه فيها؛ حيث ازداد محتوى جذور الثوم من أيون الكادميوم Cd^{2+} بزيادة تركيز العنصر بالمحلول المغذى. وعند تركيز ١٠^-٢^ مول من الكادميوم راكمت الجذور العنصر بما مقداره ١٨٢٦ ضِعف تراكمه فى جذور نباتات الكنترول. وبالمقارنة.. كان تراكم الكادميوم بالجذور عند تركيزات ١٠^-٣^، و١٠^-٤^، و١٠^-٥^ مول من الكادميوم ١١٤، و٥٩، و٢٤، و٤ أضعاف تركيزه فى جذور نباتات الكنترول، على التوالى. هذا.. إلا أن النباتات لم تنقل سوى كميات صغيرة من الكادميوم من الجذور إلى كل من الأبصال والنموات الخضرية، وهى التى كان تركيز الكادميوم فيها منخفضًا (Jiang وآخرون ٢٠٠١).

الكنتالوب

أدى تعرض نباتات الكنتالوب للأوزون — تحت ظروف الحقل — إلى اصفرار الأوراق بين العروق، ثم اختفاء اللون منها، وتحللها. وكان تأثير الأوزون أشدّ وضوحًا على الأوراق المكتملة النمو منه على الأوراق الأصغر سنًّا. وقد تطابقت تلك الأعراض مع أعراض التسمم من الأوزون تحت ظروف متحكم فيها، كما ظهرت اختلافات بين أصناف الكنتالوب فى مدى حساسيتها للأوزون (Simini وآخرون ١٩٨٩).

الفراولة

دُرس تأثير زيادة تركيز الأوزون عند إنتاج الفراولة، ووجد أن تأثيره يتوقف – جوهريًا – على الصنف ومدى حساسيته لشدِّ الأكسدة. وبصفة عامة.. فإن الأوزون قلل من محتوى الثمار من حامض الأسكوربيك، ورفع من درجة أكسدة الدهون، وخفَّض من حلاوة الثمار، بينما لم يؤثر شدٌّ الأوزون على محصول الثمار أو مضادات الأكسدة أو الأنثوسيانينات أو المركبات الفينولية بالثمار. هذا بينما أحدث الأوزون أضرارًا بالسبلات وبمظهر الثمار، مع خفض فى محتواها من الجلوتاثيون. حدث كل ذلك فى الصنف الحساس للأوزون Korona، بينما بقيت صفات جودة الثمار فى الصنف الأقل حساسية Elsanta ثابتة غالبًا (Keutgen & Pawelzik ٢٠٠٨).

مقاومة أضرار ملوثات الهواء

إن أجدى الوسائل للتغلب على أضرار ملوثات الهواء هى زراعة الأصناف المقاومة للملوثات – التى تنتشر فى منطقة الزراعة – والتى تتوفر فى عديد من محاصيل الخضر (حسن ٢٠١٣).

وقد اختبرت عديد من المركبات الكيميائية للحماية من أضرار ملوثات الهواء – وخاصة الأوزون – واستعمل – مثلاً – فيتامين ج كمادة مضادة للأكسدة – رشًا على النباتات، ولكن استعماله لم يكن عمليًا لتكلفته العالية. كذلك اختبر البينوميل (وهو مبيد فطرى جهازى)، ووجد أنه يُكسب النباتات حمايةً من أضرار الأوزون تحت ظروف الحقل عندما استخدم رشا أو أضيف مع الماء عن طريق التربة. ولكن لزِم إجراء المعاملة ٣–٧ مرات لتوفير الحماية الكافية من الأوزون.

وكان أكثر مضادات الأكسدة فاعلية فى حماية النباتات من أضرار الأوزون مركب الإثيلين دايوريا ethylene diurea.

كذلك كانت بعض منظمات النمو – مثل الـ daminozide، والـ ancymidol، وحامض الأبسيسك، والسيتوكينينات – فعّالة فى الحماية من أضرار ملوثات الهواء (عن Kender & Forsline ١٩٨٣).

كما وجد أن المركبات المضادة للشيخوخة antisenescene (من أمثال benzyimadazole، وN-6-benzyladenine، والكينتين Kinetin) كانت فعّالة فى تقليل أضرار الأوزون فى الفاصوليا والسبانخ (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

ويمكن خفض أضرار الفلوريدات فى النباتات برشها بمركبات قلوية مثل الجير.

وقد وفّر استعمال عديد من مركبات الداى ثيوكاربامات dithiocarbamates – مثل المبيدان الفطريان: الزينب، والمانيب – بعض الحماية من الملوثات التى تنشأ بفعل تأثير الأشعة فوق البنفسجية على غازات أخرى تتواجد فى الهواء وتلوثه. وتحدث هذه الحماية بفعل تفاعل المبيد الفطرى – على سطح الورقة – مع الغاز الذى يلوث الهواء.

وقد وجد أن المبيدات الفطرية الجهارية (مثل البينوميل benomyl، والترايارمول triarimol، والكاربوكسين carboxin، والثيابندازول thiabendazole، والثيافونيت thiaphonate) كانت أكثر فاعلية من الداى ثيوكارباميت فى الحماية من ملوثات الهواء. ويمكن معاملة النباتات بهذه المركبات إما رشًا، وإما عن طريق التربة؛ حيث تمتص بواسطة الجذور، ويمكن استخدامها للوقاية من ملوثات الهواء بنفس التركيزات التى تستعمل بها كمبيدات فطرية.

كذلك وجد أن مثبطات النمو الكيميائية: الكلورمكوات Chlormequat (السيكوسل Cycocel)، والـ SADH (مثل التحضير التجارى B-Nine)، والأنسيميدول ancymidol (مثل التحضير التجارى A-Rest).. وجد أنها تزيد من مقاومة النباتات لأضرار ملوثات الهواء، وهى تزيد كذلك من تحمل النباتات لحالات الحرارة العالية، والحرارة المنخفضة، والجفاف.

ويرجع ذلك إلى أن هذه المركبات تُحدث انغلاقًا جزئيًا أو كاملاً للثغور لفترات مختلفة عقب معاملة النباتات بها.

وقد لوحظ أن المثبطات الفعالة فى تثبيط النمو فى نوع نباتى معين تكون فعالة — كذلك — فى حماية نفس النوع من أضرار الملوثات، ولكن التركيز الفعال فى الحماية من ملوثات الهواء يبلغ — عادة — ضعف التركيز المثبط للنمو النباتى.

ويمكن فى البيوت المحمية ترشيح الهواء من الملوثات بإمراره على مرشحات تحتوى على فحم مُنَشَّط (عن Ball ١٩٨٥).

التغلب على أضرار الأوزون وشد الأكسدة

المعاملة بالمبيد الفطرى زينب

أدى رش نباتات الطماطم بالمبيد الفطرى زينب Zineb — فى منطقة من إسبانيا تعرف بارتفاع تركيز الأوزون بهوائها — إلى منع أكسدة دهون الأغشية الخلوية، وإلى انخفاض نشاط الإنزيمات "الكاسحة" scavenging enzymes (وهى التى تنشط عمليات الأكسدة)؛ بما يعنى أن رش النباتات بالمبيد الفطرى زينب يجعلها أقل تعرضًا لشدِّ الأكسدة (Calatayud & Barreno ٢٠٠٠).

المعاملة بالإثيلين دايوريا

أدت معاملة الفجل واللفت (فى حقول بالقرب من مناطق سكنية أو ريفية بالإسكندرية) بالمركب ethylene diurea (اختصارًا: ED) المضاد لفعل الأوزون إلى تحسين نمو النباتات، وخاصة فى المنطقة الريفية التى وُجدت فيها تركيزات أعلى من الأوزون. هذا.. ولم يكن للـ ED أى تأثير على النمو النباتى فى غياب الأوزون فى حجرات للنمو (Hassan وآخرون ١٩٩٥).

المعاملة بالبكتيريا *B. subtilis*

وجد أن معاملة *Brassica juncea* بالسلالة 3A25 من البكتيريا *Bacillus subtilis* إما رشًّا على النمو الخضرى، وإما عن طريق التربة قللت جوهريًّا من التأثير السلبى للأوزون على النباتات (Holzinger وآخرون ٢٠١١).

التغلب على أضرار تراكم الكادميوم وغيره من العناصر الثقيلة

المعاملة بحامض الهيوميك

- أدت إضافة حامض الهيوميك إلى بيئة زراعة الخس إلى ارتباط الكادميوم الموجود بالبيئة بالحامض؛ وبذا قل امتصاص النبات للعنصر؛ بما يعنى أن إضافة حامض الهيوميك إلى التربة قد تفيد فى خفض تيسر وحركة العناصر الثقيلة فى التربة كذلك (Haghighi وآخرون ٢٠١٠).

- أدت المعاملة بكلوريد الكادميوم فى بيئة نمو الخس بمعدل ٢ أو ٤ مجم/لتر إلى خفض معدل البناء الضوئى، وتركيز الكلوروفيل بالأوراق، والوزن الطازج للنمو الخضرى، بينما أحدثت المعاملة بحامض الهيوميك بمعدل ١٠٠ أو ١٠٠٠ مجم/لتر زيادة جوهرية فى الوزن الطازج للنمو الخضرى للخس دون أن تؤثر على معدل البناء الضوئى، أو على محتوى الأوراق من الكلوروفيل. وفى المقابل.. حدث نقص جوهرى فى محتوى الأوراق من الكادميوم مع تحسين للنمو الخضرى عند المعاملة بحامض الهيوميك (Haghighi وآخرون ٢٠١٣).

المعاملة بالسيليكون

- كانت إضافة السيليكون للتربة على صورة سيليكات البوتاسيوم فعالة فى منع الامتصاص الزائد للكادميوم بواسطة نباتات الفراولة فى تربة رملية ملوثة بالكادميوم، وبدا ذلك واضحًا فى جميع أجزاء النبات فيما عدا الجذور. هذا إلا أن المعاملة بالسيليكون رشًّا على النموات الخضرية لم تكن مؤثرة (Treder & Cieslinski ٢٠٠٥).

• أدت معاملة الخيار بالسيليكون إلى حماية النباتات من الآثار المترتبة على التسمم بالكادميم، والتى تمثلت فى تثبيط الكادميم للبناء الضوئى وأيض النترات؛ حيث أدت المعاملة بالسيليكون إلى حماية الكلوروبلاستيدات من التدهور، وأحدثت زيادة جوهرية فى محتوى الصبغات (Feng وآخرون ٢٠١٠).

المعاملة بالسيلينيم

لم يؤثر السيلينيم (حتى ١٠ ميكرومول) سلبيًّا على الكتلة البيولوجية للنمو الخضرى للخيار، مقارنة بتأثير الكادميم حتى ٥٠ ميكرومول، إلاّ أن الوزن الطازج للجذور ازداد جوهريًّا بعد تزويد المحلول المغذى الملوث بالكادميم بتركيز ٥٠ ميكرومول.. تزويده بالسيلينيم بتركيز ١٠ ميكرومول. وقد أُرجع هذا التأثير الإيجابى للسيلينيم إلى منعه لتراكم الكادميم بالنبات وخفضه لأكسدة الدهون فى الجذور، وزيادته لثبات الأغشية الخلوية بنسيج الأوراق (Hawrylak-Nowak وآخرون ٢٠١٤).

المعاملة بالكاينتين

أدى تلويث التربة بالكادميم بتركيز ٣ أو ٩ مجم كادميم/ كجم من التربة إلى نقص النمو الخضرى لشتلات الباذنجان تناسب مع تركيز الكادميم المستعمل؛ الأمر الذى كان مرده إلى تراكم الكادميوم فى الجذور والنموات الخضرية. وقد أدى رش النموات الخضرية بالكاينتين بتركيز ١٠ ميكرومول إلى تقليل سمية الكادميم؛ الأمر الذى كان مُصاحبًا بانخفاض كبير فى تراكم الكادميوم فى الشتلات. كذلك أدت المعاملة بالكادميم إلى تقليل تركيز كلوروفيل أ،ب والكاروتينات ودلائل فلورة الكلوروفيل، بينما خفّفت معاملة الكادميم من تلك التأثيرات الضارة؛ وأيضًا أدت معاملة الكادميم إلى زيادة دلائل الشدّ التأكسدى مثل محتويات فوق أكسيد الأيدروجين، والـ superoxide radical، والـ malondialdehyde، بينما خفضت معاملة الكادميم من تلك التأثيرات؛ وأدت معاملة الكادميم إلى زيادة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة.. الـ peroxidase، والـ

superoxide dismutase، والـ catalase، والـ glutathione-S-transferase، وكذلك المحتوى من مضادات الأكسدة غير الإنزيمية: الـ non protein thiol والبرولين، بينما أدت معاملة الكينتين إلى إحداث زيادة أكبر فى تضادية الأكسدة فى النباتات المعاملة بالكادميم، وحتى فى النباتات غير المعاملة به (Singh & Prassad ٢٠١٤).

التطعيم

كثيرًا ما يُفيد التطعيم على أصول معينة فى الحد من أضرار التلوث الأرضى بالعناصر الثقيلة (مثل الكادميم والنيكل والكروم) والعناصر الدقيقة (مثل النحاس والبورون والمنجنين)، وفى الحد من مشاكل نقص العناصر المغذية، مثل: النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم. ولمزيد من التفاصيل حول هذا الموضوع.. يُراجع Savvas وآخرين (٢٠١٠).

وقد أظهرت دراسة أُجريت فى اليابان أن حوالى ٧٪ من ثمار الباذنجان هناك تحتوى على كادميم بتركيزات تزيد عن الحدود الدولية الآمنة للخضر الثمرية. ولقد وجد أن تطعيم الباذنجان على *Solanum torvum* قلل من تركيز الكادميم بالثمار بنحو ٦٣٪ - ٧٤٪، سواء أكان الإنتاج فى تربة ملوثة أم غير ملوثة بالكادميم، وذلك مقارنة بالتركيزات عندما كان التطعيم على *S. melongena* أو *S. integrifolium*. ووجد أن تركيز الكادميم فى سيقان وأوراق الطعوم على *S. torvum* كان - تقريبًا - ٣٠٪ من تركيزه عندما كان التطعيم على *S. integrifolium*؛ بما يعنى أن انتقال الكادميم من الجذور إلى النموات الخضرية كان أقل فى النباتات التى طُعِّمت على *S. torvum*؛ وهو الأمر الذى وجد - كذلك - عندما كان كل من الأصل والطعم من *S. torvum* وتبين أن تركيز الكالسيوم فى ساق *S. torvum* كان ٢٢٪ من نظيره فى سيقان *S. melongena* (Arao وآخرون ٢٠٠٨).

كما أظهرت دراسات أخرى أن تطعيم الخضر الثمرية على بعض الأصول يمكن أن يحد من امتصاص العناصر الثقيلة، مع تحسين امتصاص بعض العناصر المغذية، ولقد

دُرس تـأثير أربعـة أصـول مـن الهجـين النـوعى *C. maxima* x *C. moschata* (هـى: Power، و TZ-148، وFerro، و Strong Tosa) على امتصاص الكادميم والنيكل فـى صنف الخيار Creta عند التعرض لمستوى عالٍ من العنصرين (١٠، و٥٠ ميكرومول/لتر، على التوالى)، وكذلك على امتصاص النباتات لعناصر الكالسيوم والبوتاسـيوم والمغنيـسيوم والمنجنيز والزنك. وقد أظهرت الدراسة أن الأصـل Power يمكـن أن يحـد بفاعليـة مـن مستوى الكادميم بالنباتات بنحو ١٢٪ –٥٠٪، مقارنة بالوضع فى كل معاملات التطعـيم الأخرى. أما مستوى النيكل فقد انخفـض فـى جميـع معـاملات التطعـيم بمقـدار ٢٢٪– ٢٣٪، مقارنة بالوضع فى نباتات الكنترول غير المطعومة. هذا.. ولم يـؤثر التطعـيم علـى امتصاص الخيار للعناصر باستثناء حالة التطعيم على Power التى عززت من مـستويات البوتاسيوم والزنك والمنجنيز بالثمار، لكن ذلك الاختلاف اختفى فى حالة شد الكـادميم. والخلاصة أن امتصاص الكادميم والعناصر بواسطة نباتات الخيـار المطعومـة يعتمـد علـى التركيـب الـوراثى للأصـل، بينمـا يعتمـد امتـصاص النيكـل وانتقالـه لمختلـف الأنـسجة النباتية على التركيب الوراثى للأصل. ويؤثر الكادميم – أساسًا – على امتصاص الخيـار لكاتيونات العناصر الدقيقة، بينمـا يـؤثر النيكـل فـى إعـادة توزيـع كاتيونـات العناصـر المغذية بين مختلف أجزاء النبات (Savvas وآخرون ٢٠١٣).

الفصل العاشر

الشد الناشئ عن التباينات فى طبيعة وكيمياء التربة وتيسر العناصر فيها

تعريف بالأنواع المختلفة من الأراضى الملحية والقلوية وطرق إصلاحها

الأراضى الملحية

الأراضى الملحية Saline Soils هى الأراضى التى تقل فيها نسبة الصوديوم المتبادل عن ١٥٪، وتزيد درجة توصيلها الكهربائى على ٤، ويقل الـ pH فيها عن ٨,٥. وتحسب نسبة الصوديوم المتبادل Exchangeable Sodium Percentage (أو ESP) كالتالى:

$$\text{نسبة الصوديوم المتبادل} = \frac{\text{الصوديوم المتبادل (مللى مكافئ/ ١٠٠ جم تربة)}}{\text{السعة التبادلية الكاتيونية (مللى مكافئ/١٠٠ جم تربة)}} \times ١٠٠$$

يشكل الصوديوم الذائب فى المحلول الأرضى فى هذه الأراضى أقل من ٥٠٪ من الكاتيونات؛ وعليه.. فإنه لا يشكل سوى نسبة بسيطة من الكاتيونات المتبادلة (تقل عن ١٥٪). وعادة لا يشكل البوتاسيوم الذائب والمتبادل سوى نسبة ضئيلة أيضًا، ولكنه قد يوجد أحيانًا بوفرة. أما كاتيونات الكالسيوم والمغنيسيوم فتختلف كمياتها النسبية كثيرًا فى المحلول الأرضى. وأكثر الأنيونات الذائبة سيادة فى الأراضى الملحية هى: الكلور، والكبريتات، وأحيانًا النترات أيضًا. وقد توجد كميات ضئيلة من البيكربونات، لكن نظرًا لعدم زيادة الـ pH عن ٨,٥، فإن الكربونات الذائبة تكون غالبًا غائبة. وإضافة إلى الأملاح الذائبة، فإن الأراضى الملحية قد تحتوى على بعض الأملاح غير الذائبة نسبيًا؛ مثل :الجبس (كبريتات الكالسيوم)، وكربونات الكالسيوم، وكربونات المغنيسيوم. ومن خصائص الأراضى الملحية أنها تكون مفككة وعالية النفاذية. ويمكن التعرف عليها

بتزهُّر الأملاح على سطحها، أو بظهور بقع ذات مظهر زيتى، وخالية من النموات النباتية بها.

تقسيم الأراضى حسب درجة ملوحتها

تقسم الأراضى حسب درجة ملوحتها إلى خمسة أقسام، كما يلى (Singh ١٩٩٣):

القسم	EC (بالديسى سيمنز/م)	التأثير على الحاصيل الزراعية
غير ملحية	صفر – ٢	لا يُذكر
ملحية قليلاً	٢–٤	قد ينخفض محصول الأنواع الحساسة
متوسطة الملوحة	٤–٨	ينخفض محصول عديد من الأنواع
شديدة الملوحة	٨–١٦	الأنواع المتحملة فقط هى التى تُنتج فيها محصولاً مرضيًا
شديدة الملوحة جدًا	> ١٦	الأنواع شديدة التحمل فقط هى التى تنتج فيها محصولاً مرضيًا

ومن الطرق المؤقتة لإصلاح الأراضى الملحية ما يلى:

١– قلب الطبقة السطحية بعمق فى التربة.

٢– إزالة الطبقة السطحية الملحية بكشطها والتخلص منها.

٣– معادلة تأثير بعض الأملاح بإضافة أملاح أخرى وأحماض.

لكن إصلاح الأراضى بصورة جيدة ودائمة يتطلب عدة شروط وإجراءات كما يلى:

١– خفض منسوب الماء الأرضى:

ولتحقيق ذلك يجب أن نعرف أولاً مصدر الماء الذى يتسبب فى رفع منسوب الماء الأرضى. فإذا كان من مصدر مائى قريب، فقد يمكن فصله عن الحقل بمصرف عميق، لكن منسوب الماء الأرضى المرتفع غالبًا ما يرجع إلى تسرب الماء إلى الحقل سطحيًا أو من تحت التربة من المناطق الأعلى المجاورة.

٢– نفاذية جيدة للماء خلال التربة:

ذلك لأن النفاذية الضعيفة قد تتسبب فى فشل خطة إصلاح التربة، حتى مع

توفير مصارف جيدة. فغالبًا ما تتقارب حبيبات الطين بعضها من بعض أثناء غسل التربة، وتصبح التربة بذلك شديدة التماسك وضعيفة النفاذية. وفى هذه الحالات تلزم إضافة الجبس الزراعى، وأحيانًا الكبريت ليحل محل الصوديوم. وأفضل وسيلة للمحافظة على النفاذية الجيدة هى بتقليل عمليات حرث الأرض إلى حدها الأدنى، مع تجنب حرث التربة نهائيًا وهى شديدة الجفاف أو زائدة الرطوبة.

٣- غسل الأملاح الزائدة:

يتطلب ذلك كميات كبيرة من الماء الذى يجب أن يتخلل التربة. ويمكن تحقيق ذلك بسهولة فى الأراضى الخشنة القوام، لكنه قد يكون أمرًا صعبًا فى الأراضى المنضغطة Compact والطينية.

٤- توفير صرف جيد:

فبدون الصرف الجيد نجد أن استمرار الرى يؤدى إلى رفع مستوى الماء الأرضى تدريجيًا، ويتبع ذلك ارتفاع الماء بالخاصية الشعرية بين الريات، ثم تبخره، تاركًا الأملاح لتتزهر على سطح التربة من جديد.

ونتناول فى الفصل الثانى عشر – بالتفصيل – موضوع الشدّ الملحى وكل ما يتصل به من أمور.

الأراضى الملحية القلوية

الأراضى الملحية القلوية Sodic or Saline Alkali Soils هى الأراضى التى تزيد فيها نسبة الصوديوم المتبادل على ١٥٪، وتزيد درجة توصيلها الكهربائى على ٤ فى حرارة ٢٥°م، كما يزيد الـ pH فيها على ٨,٥ قليلاً.

تحتوى هذه الأراضى – عادة – على كربونات الصوديوم أو بيكربونات الصوديوم، وكربونات الكالسيوم، وتركيزات عالية من السيليكون الذائب.

يتشابه مظهر وخصائص هذه الأراضى مع الأراضى الملحية ، ما دام الملح موجودًا

بها، ولكن عند التخلص من الأملاح الذائبة بالغسيل، فإن مظهر وخصائص هذه الأراضى يتغير وتصبح مشابهة للأراضى القلوية.

فعند وجود نسبة عالية من الأملاح الذائبة يندر أن يزيد الـ pH عن ٨,٥، وتظل الغرويات فى حالة متجمعة flocculated، ومع نقص نسبة الملح فى التربة تدريجيًا بالغسيل يتهدرج بعض الصوديوم مكونًا أيدروكسيد الصوديوم، وقد يتبع ذلك تكوّن كميات صغيرة من كربونات الصوديوم بالتفاعل مع ثانى أكسيد الكربون، إلى أن تصبح التربة شديدة القلوية (أعلى من ٨,٥)، ويتبع ذلك تفرق dispersion غرويات التربة، وتصبح التربة غير منفذة للماء وشديدة الصلابة عند الحرث.

ويمكن تلخيص أهم مشاكل الأراضى الصودية فيما يلى:

١- ارتفاع الـ pH ذاته.

٢- تثبيت عناصر الفوسفور، والكالسيوم، والحديد، والزنك.

٣- سمية البورون.

٤- ضعف نفاذيتها للماء.

٥- إعاقة نمو الجذور فيها.

وتقسم المحاصيل حسب تحملها للنمو فى الأراضى الصودية كما يلى:

١- محاصيل ذات قدرة على التحمل.. وتشمل البرسيم الحجازى، والشعير، وبنجر السكر، وبنجر المائدة، وحشيشة برمودا، والقطن.

٢- محاصيل متوسطة التحمل.. وتشمل الأرز، والقمح، والشوفان.

٣- محاصيل حساسة.. وتشمل الفاصوليا، والذرة، وأشجار الفاكهة.

ولإصلاح الأراضى الصودية يلزم الغسيل، مع إضافة الجبس الزراعى، أو الكبريت

لمعالجة الملوحة مع القلوية فى آنٍ واحدٍ؛ حيث يحل الكالسيوم محل الصوديوم المتبادل، كما يلى:

الكبريت + أكسجين الهواء الجوى + ماء ← حامض كبريتيك

حامض كبريتيك + كربونات كالسيوم بالتربة ← جبس (كبريتات كالسيوم) + ثانى أكسيد الكربون + ماء.

الجبس + الصوديوم فى الأراضى الصودية ← كالسيوم ميسر للنبات محل الصوديوم + كبريتات صوديوم.

كبريتات الصوديوم تزول بالغسيل مع الصرف الجيد (خطوة فى منتهى الأهمية، مع إضافة الماء بالغمر أو بالرش).

ويؤدى استعمال حامض الكبريتيك مباشرة — بدلاً من الكبريت — إلى الاستغناء عن التفاعل الأول، كما يؤدى استعمال الجبس مباشرة إلى الاستغناء عن التفاعلين الأول والثانى.

الأراضى القلوية غير الملحية (الصودية)

الأراضى القلوية غير الملحية Non Saline Alkali Soils هى الأراضى التى تزيد فيها نسبة الصوديوم المتبادل على ١٥٪، وتقل درجة توصيلها الكهربائى عن ٤ فى حرارة ٢٥°م. ويتراوح الـ pH فيها بين ٨,٥ و ١٠. وتوجد هذه الأراضى — غالبًا — فى المناطق الجافة وشبه الجافة.

وتعرف الأراضى التى تحتوى على مستويات عالية من الصوديوم المتبادل ومستويات منخفضة من الأملاح الكلية بأنها أراضٍ صودية sodic soils.

مشاكل الأراضى الصودية

فى هذه الأراضى تتباعد غرويات الطين المشبعة بالصوديوم بعضها عن بعض،

وتنتقل لأسفل؛ حيث تتجمع على مستوى أدنى، ويتبع ذلك أن تصبح الطبقة السطحية من التربة خشنة القوام، بينما تليها مباشرة طبقة قليلة النفاذية.

كما نجد فى هذه الأراضى أن الـ pH يرتفع، ويزداد تنافر غرويات الطين كلما ازدادت نسبة الصوديوم المتبادل. وفيها تغلب أنيونات الكلور والكبريتات والبيكربونات فى المحلول الأراضى مع وجود كميات قليلة من الكربونات. وعندما يكون الـ pH مرتفعًا مع وجود الكربونات، فإن ذلك يؤدى إلى ترسب كل من الكالسيوم والمغنيسيوم، ومن ثم يحتوى المحلول الأرضى للأراضى القلوية على قليل جدًّا من الكاتيونات، بينما يسود الصوديوم، وتوجد فى بعض الأراضى القلوية كميات كبيرة من البوتاسيوم الذائب والمتبادل.

هذه الأراضى تكون قليلة النفاذية، ويصعب حرثها، وتكون لدنة plastic ولزجة sticky عندما تكون مبتلة، كما تكوّن كتلاً (قلاقيل) clods، وقشرة صلبة crusts عند جفافها. ونجد أن المادة العضوية تنتشر وتتوزع على سطح حبيبات التربة فيها؛ مما يجعل لونها قاتمًا. وفى حالة وجود كميات محسوسة من المادة العضوية، فإن سطح التربة قد يصبح أسود اللون، ومن ذلك جاء اسم الأرض السوداء black soil (Israelsen & Hansen ١٩٦٢، وAllison ١٩٦٤).

هذا.. وتُضار كثيرٌ من النباتات بشدة عند زيادة القلوية فى التربة على ٠,٠٧٪ HCO_3 والـ pH عن ٨,٧، وتموت معظم النباتات — تقريبًا — فى pH أعلى من ٩,٥. وتكون التربة قاحلة وقفراء عندما تصل نسبة الصوديوم المتبادل فيها إلى ١٥٪ - ٣٠٪، وتكون غير صالحة للحراثة أو الرى.

ويمكن للأراضى الصودية إعاقة النمو النباتى من خلال ما يلى:

١- سمية الصوديوم ذاته لبعض الأنواع النباتية الحساسة.

٢- نقص العناصر أو عدم توازنها؛ فيقل توفر أيونات الكالسيوم والبوتاسيوم والمغنيسيوم.

٣-ارتفاع الـ pH.

٤-تفرق حبيبات التربة؛ مما يؤدى إلى تدهور خصائصها.

يكون بناء التربة الصودية سيئًا مع رداءة الصرف فيها؛ ذلك لأن أيونات الصوديوم التى تدمص على سطح غرويات الطين تؤدى إلى تفرقها. تكون الأراضى الصودية صلدة ومتكتلة عند جفافها ويتكون بها القشور السطحية. وتكون نفاذية التربة الصودية للماء ضعيفة، خاصة عندما تكون التربة غنية بالسلت والطين، ويكون إنبات البذور فيها ضعيفًا. يزيد pH التربة فيها غالبًا عن ٩,٥؛ ويترتب على ذلك حالة من عدم التوازن بين العناصر. وكقاعدة.. تعنى زيادة pH التربة عن ٨,٤ وجود مشكلة صوديوم. ويُستخدم مصطلح "قاعدية" alkali — كثيرًا — لوصف الأراضى الملحية، ولكنه يستخدم — كذلك — أحيانًا — لوصف الأراضى القلوية والأراضى العالية فى الصوديوم. أما مصطلح "قاعدية سوداء" black alkali فيشير إلى الأراضى الصودية التى تتجمع فيها المادة العضوية كرماد على سطح التربة.

خصائص الأراضى الصودية

يُشار إلى مستوى الصوديوم فى التربة بنسبة ادمصاص الصوديوم sodium adsorption ratio (اختصارًا: SAR)، وهى نسبة أو كمية كاتيونات الصوديوم إلى كاتيونى الكالسيوم والمغنيسيوم على سطح غرويات التربة. ويُقاس الـ SAR فى مستخلص مائى بعجينة التربة المشبعة. ويفضل أن تكون قيمه SAR أقل من ١٣. وإذا ما زادت عن ١٣ فإن الصوديوم يؤدى إلى تدهور خصائصها، وتنخفض بشدة نفاذيتها للماء. وإذا ما عُبِّر عن مستوى الصوديوم بالـ ESP (اختصارًا لـ: exchangeable sodium percentage) فإن القيمة التى تزيد عن ١٥ (أكثر من ١٥٪ من السعة التبادلية للتربة يشغلها الصوديوم) تعنى أن التربة صودية. وتجدر الإشارة إلى أن بعض الأنواع

النباتية الحساسة للصوديوم قد تظهر عليها أضرار العنصر فى مستويات أكثر انخفاضًا عن ١٥ ESP.

هذا.. وتقدر SAR بالمعادلة التالية:

$$SAR = Na^{+} / \sqrt{(Ca^{++}) + (Mg^{++})/2}$$

ويُعبر عن الأيونات فى المعادلة بالمللى مكافئات/لتر (meq/l).

وللتحويل من ppm أو mg/l إلى meq/l يُقسم على ٢٣، وللكالسيوم Ca^{++} يقسم على ٢٠، وللمغنيسيوم Mg^{++} يقسم على ١٢,٢ (Davis وآخرون ٢٠٠٧).

ويبين جدول (١٠-١) بعض الخصائص الكيميائية للأراضى الملحية، والصودية غير الملحية،والصودية الملحية.

جدول (١٠-١): بعض الخصائص الكيميائية للأراضى الملحية والصودية غير الملحية والصودية الملحية (عن Balba ١٩٩٥)

التربة	EC (بالديسى سيمنز/م)	ESP	pH
الملحية	أكثر من ٤,٠	أقل من ١٥	أقل من ٨,٥
الصودية غير الملحية	أقل من ٤,٠	أكثر من ١٥	أكثر من ٨,٥
الملحية الصودية	أكثر من ٤,٠	أكثر من ١٥	أقل من ٨,٥

هذا.. وقد يتكون مع الوقت – وبصورة تدريجية – فى الأراضى الصودية غير الملحية طبقة طينية كثيفة غير منفذة تتكون من حبيبات طين مُشتتة أو مُفرقة بفعل الصوديوم تحت طبقة من التربة الخشنة نسبيًا والسهلة التفتت.

وتقسم الأراضى القلوية حسب نسبة الصوديوم المتبادل (ESP) فيها، ومدى تأثيرها على النمو النباتى إلى خمسة أقسام، كما يلى (عن Singh ١٩٩٣):

فئة الـ ESP	الضرر	ملاحظات
صفر – ١٥	معدوم إلى قليل	لا تتأثر سوى الأنواع الحساسة
١٥–٣٠	قليل إلى متوسط	
٣٠–٥٠	متوسط إلى عالٍ	
٥٠–٧٠	عالٍ إلى عالٍ جدًا	
٧٠ وأكثر	عالٍ بشدة	لا تنمو فيها سوى الأنواع شديدة التحمل

وللإطلاع على تفاصيل عمليات استصلاح الأراضى الملحية والصودية غير الملحية والصودية الملحية فى المناطق القاحلة.. يراجع Balba (١٩٩٥).

هذا.. وتؤدى زيادة التسميد بالفوسفور فى الأراضى الجيرية إلى تفاقم مشكلة الاصفرار الناشئ عن نقص الحديد فى النباتات التى تنمو فيها (Sánchez–Rodriguez وآخرون ٢٠١٤).

الأراضى الجيرية

تزداد مشكلة ارتفاع الـ pH فى الأراضى الصحراوية تعقيدًا عندما يكون ذلك مصاحبًا يارتفاع كبير فى نسبة كربونات الكالسيوم، كما فى الأراضى الجيرية Calcarious Soils؛ إذ يؤدى ذلك إلى ما يلى:

١–تكوّن قشرة صلبة على سطح التربة تؤدى إلى تأخير الإنبات أو إعاقته.

٢–تتحول فوسفات أحادى وفوسفات ثنائى الكالسيوم إلى فوسفات ثلاثى الكالسيوم، وهى صورة قليلة الذوبان جدًّا فى الماء.

٣–تتحول مركبات العناصر الصغرى الأكثر ذوبانًا فى المحلول الأرضى إلى صورة الكربونات الأقل ذوبانًا.

٤–يؤدى توفر الجير إلى تطاير وفقد الأمونيا من الأسمدة النشادرية.

٥–انتشار وجود الطبقات الجيرية الصماء تحت سطح التربة.

وتنتشر الأراضى الجيرية فى مصر فى المواقع التالية :

الموقع	نسبة الجير بالتربة (٪)	مشاكل التربة الأخرى
النوبارية	١١-٤٠	تكوّن القشرة السطحية الصلبة عند جفاف التربة
القطاع الشمالى لمديرية التحرير	٥-٣٠	شدة نفاذية التربة ورشحها للماء
الساحل الشمالى	٣٠-٧٠	ارتفاع نسبة الأملاح
		ارتفاع منسوب الماء الأرضى إلى أقل من ١٠٠ سم
سيناء	١١-٥٠	ارتفاع نسبة الأملاح

وتعالج المشاكل الفيزيائية للأراضى الجيرية بحراثة طبقة تحت التربة لتقطيع الطبقات الصماء التى تمنع رشح الماء وانتشار الجذور. ويفضل لذلك استخدام المحاريث الحفارة، مع تجنب استعمال المحاريث القلابة. كذلك يراعى الإكثار من التسميد العضوى، مع إجراء الرى "على الحامى"؛ أى يكون غزيرًا وسريعًا.

ويوصى — عمومًا — بزيادة تركيز عناصر الحديد، والمنجنيز، والزنك فى مياه الرى (بالتنقيط) بنسبة ٥٠٪ عند وجود كربونات الكالسيوم فى الأرض بنسبة ٥٪-١٠٪، أما عند زيادة نسبة الجير عن ١٠٪.. فتفضّل إضافة العناصر الصغرى رشًّا على أوراق النباتات.

ومن أنسب المحاصيل للزراعة فى الأراضى الجيرية : الطماطم، والباذنجان، والفلفل، والكوسة، والبطيخ. كذلك يمكن زراعة التين، والزيتون، واللوز، والعنب، والخوخ، والرمان، والنخيل، بالإضافة إلى المحاصيل الحقلية النجيلية (مثل القمح، والشعير، والذرة) والبقولية (مثل الفول والبرسيم).

تقسيم الأراضى حسب طبيعتها وخصائصها المميزة

يُبين جدول (١٠-٢) تقسيمًا للأنواع المختلفة للأراضى حسب طبيعتها (الرملية والطميية الرملية والطميية والطميية السلتية والطميية الطينية والطينية) وبعض خصائصها الهامة.

جدول (١٠–٢): بعض خصائص مختلف أنواع الأراضى[أ] (عن Benjamin ١٩٦٦).

نوع التربة	الكثافة الظاهرية	السعة التبادلية الكاتيونية (مللى مكافئ/١٠٠جم)	الفراغات (٪)	احتياجات الحراثة	السعة الحقلية (٪)
الرملية	١,٥٨	< ٤,٠	٣٨	قليلة جدًّا	٩
الطميية الرملية	١,٤٧	٣–١٠	٤٣	قليلة	٢٣
الطميية	١,٣٩	٨–١٨	٤٧	متوسطة	٣٤
الطميية السلتية	١,٣٦	١٠–٢٥	٤٩	متوسطة	٣٧
الطميية الطينية	١,٣١	٢٠–٣٥	٥١	كبيرة	٣٠
الطينية	١,٢٣	٣٠–٥٠	٥٣	كبيرة جدًّا	٤٥

أ– باستثناء الكثافة الظاهرية bulk density، فإن جميع القيم تزداد بزيادة نسبة المادة العضوية فى التربة، أما الكثافة النوعية فتنخفض بزيادة نسبة المادة العضوية فى التربة.

يُلاحظ من جدول (١٠–٢) أن خشونة التربة (التى تنخفض تدريجيًّا من التربة الرملية إلى التربة الطينية) تتناسب طرديًّا مع الكثافة النوعية، وتتناسب عكسيًّا مع كل من: السعة التبادلية الكاتيونية CEC، ونسبة الفراغات فى التربة pore space، واحتياجات الحراثة، والسعة الحقلية MHC، أى كمية الماء التى تحتفظ بها التربة بعد صرف كل الماء الزائد منها بحرية بالجاذبية الأرضية. يُلاحظ كذلك أن الكثافة النوعية للتربة تتناسب عكسيًّا مع نسبة الفراغات فيها.

ويبين جدول (١٠–٣) صفات التربة فى الأراضى الصحراوية المصرية مقارنة بأراضى الوادى والدلتا (عن عبد الحميد ١٩٩١).

جدول (١٠–٣): صفات التربة فى الأراضى الصحراوية المصرية مقارنة بأراضى الوادى والدلتا.

نوع التربة	المحتوى (٪ بالوزن)			رقم الـ pH	التوصيل الكهربى (EC_e)	كربونات الكالسيوم (٪)	المادة العضوية (٪)
	رمل	سلت	طين				
الصحراوية							
الرملية	٨٥–٩٠	٣–٥	٧–١٠	٨,٠–٨,٥	٠,٢–٠,٧	٠,٥–٧,٠	٠,٤–٠,٨
الجيرية	٧٠–٨٣	٧–١٠	١٠–٢٠	٨,٥–٩,٠	٠,٦–٣,٠	٦–٤٠	٠,٧–٠,٩
الوادى والدلتا	٢٠–٢٥	٣٧–٤٧	٢٨–٤٢	٨,٠–٨,٥	٠,٦–٣,٥	٤,٥–٧,٥	١–٤,٥

طرق تقدير بعض خصائص التربة الفيزيائية

• الكثافة الظاهرية bulk density:

الكثافة الظاهرية: الوزن الجاف للتربة بالجرام/حجم التربة بالسنتيمتر المكعب.

• الفراغات porosity:

تُقدر نسبة الفراغات بأى من المعادلات التالية:

نسبة الفراغات = ١٠٠ − (الكثافة الظاهرية / كثافة حبيبات التربة أو الكثافة النوعية) × ١٠٠.

= ١− (الكثافة الظاهرية / الكثافة النوعية) × ١٠٠

علمًا بأن كثافة حبيبات التربة (أو الكثافة النوعية) تساوى − عادة − ٢,٦٥جم/سم٣.

وأن الكثافة النوعية specific gravity يمكن قياسها معمليًّا بطريقة الـ pycnometer.

• الفراغات المملوءة بالهواء air space porosity (اختصارًا AP):

$$AP = TP - M$$

$$= TP - (\text{bulk density} \times M)$$

$$= P - PFC$$

علمًا بأن:

AP = نسبة الفراغات المملوءة بالهواء.

TP = نسبة الفراغات الكلية.

M = نسبة الرطوبة.

P = نسبة الفراغات (التى أسلفنا طريقة تقديرها).

PFC = نسبة الرطوبة عند السعة الحقلية (Benjamin ١٩٦٦).

انضغاط التربة

يؤدى انضغاط التربة soil compactness إلى نقص مساميتها، وانخفاض نفاذيتها للماء، وزيادة القوة اللازمة لحرثها، ولإجراء عملية الحصاد، خاصة فى الخضر الدرنية والجذرية.

وفى البطاطس.. يتسبب انضغاط التربة فى إحداث التأثيرات التالية:

١- تأخير الإنبات.

٢- ضعف النمو الخضرى والنمو الجذرى.

٣- ارتفاع درجة حرارة التربة نتيجة لعدم تغطية النموات الخضرية للخطوط بصورة جيدة.

٤- نقص المحصول، وزيادة نسبة الدرنات المشوهة الشكل.

٥- تتكون الدرنات على عمق يقل بمقدار حوالى ٢,٥ سم عما فى الأراضى غير المنضغطة، وقد يرجع ذلك إلى أن الزراعة لا تكون عميقة بسبب صعوبة حرثها جيدًا، أو إلى أن النموات الأرضية لا تتعمق فيها.

٦- يتأخر النضج الفسيولوجى نتيجة لبطء الإنبات والنمو.

٧- تنخفض الكثافة النوعية للدرنات.

وتجدر الإشارة إلى أن جذور البطاطس ليست قوية، ولا يمكنها اختراق التربة الصلدة المنضغطة بسهولة. وتعتبر طبقات التربة الصلدة — التى تنشأ من جرّاء تكرار حراثة التربة على عمق واحدٍ — من أكبر المشاكل التى تواجه إنتاج البطاطس؛ حيث يكون نمو الجذور وتكوين الدرنات فيها سطحيًا. ويزيد الرى الغزير من حدة هذه المشكلة؛ حيث يعمل الماء على سرعة انتقال الطمى إلى أسفل فى التربة، وترسيبه عند العمق الذى يصل إليه سلاح المحراث، بينما يؤدى غمر التربة إلى نقص الأكسجين اللازم لتنفس الجذور.

وفى الفاصوليا.. أوضحت دراسات Tu & Buttery (١٩٨٨) وجود علاقة عكسية بين شدة انضغاط التربة soil compaction وبين كل من الوزن الكلى للمجموع الجذرى، والنمو الخضرى، والمساحة الكلية لأوراق النبات. ومن ناحية أخرى.. أدى انضغاط التربة — بزيادة كثافتها من ١,٢ إلى ١,٦ جم/سم^{٣} — إلى زيادة عدد العقد الجذرية nodules ووزنها الطازج/نبات، وزيادة نشاط إنزيم النيتروجينيز nitrogenase، ومحتوى وحدة الوزن من العقد الجذرية من اللجهيموجلوبين leghemoglobin.

الطرق المناسبة للرى والتسميد فى مختلف أنواع الأراضى

يبين جدول (١٠-٤) الطرق المفضلة للرى والتسميد فى مختلف أنواع الأراضى.

جدول (١٠-٤): الطرق المفضلة للرى والتسميد فى مختلف أنواع الأراضى (عن Benjamin ١٩٦٦).

نوع التربة	التسميد[أ]			الرى[ب]		
	الكمية	الطريقة	عدد المرات	الكمية (سم)	عدد المرات	نظام الرى
الرملية	SS LT	(١) (٣)	F	٠,٦٢٥ – ١,٢٥	VF	D,O
الصفراء	MS MT	(٢)	I	١,٢٥ – ٢,٥	MF	D,O,F
الطينية	LS	(٢)	S	١,٨٧٥ – ٢,٥	I	D,O,F (٤)

أ- التسميد:

الكميات: تتطلب التربة الرملية دفعات صغيرة مفردة (SS)، ولكن الكمية الكلية تكون كبيرة (LT). يمكن للأراضى الطميية أن تتحمل دفعات مفردة متوسطة الكمية (MS)، وتكون الكمية الكلية متوسطة (MT). أما الأراضى الطينية فيمكن تسميدها مرة واحدة بكمية كبيرة (LS).

والطريقة: (١) تجب إضافة الأسمدة الآزوتية والبوتاسية نثرًا فى الأرض الرملية حتى لا تُفقد بالرشح. (٢) يضاف الفوسفور والبوتاسيوم فى حزام فى الأراضى الصفراء

والطميية. (٣) يضاف أقل كمية من السماد الآزوتى والفوسفاتى قبل الزراعة فى الأراضى الرملية.

عدد المرات: F: عدة مرات ويزداد العدد مع كثرة الأمطار. I: قليلة العدد وقد تكون مرة واحدة إذا كانت الإضافة فى حزام. S: التسميد مرة واحدة فى حزام.

ب- الرى:

الكميات: حُدِّدت الكميات بالسنتيمتر بما يكفى لوصول الرطوبة إلى السعة الحقلية حتى عمق ٢٢,٥سم.

عدد المرات: VF: عديدة جدًا، MF: متوسطة، I: قليلة. ويتباين عدد المرات بتباين المناخ ونوع النبات ودرجة تعمق الجذور.

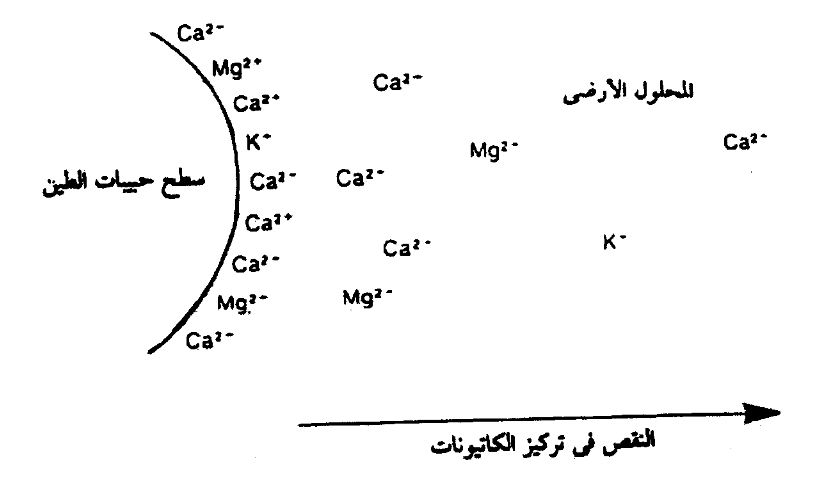
نظام الرى: D: تنقيط، O: الرش، F: الغمر عبر الخطوط، (٤) كل طرق الرى ممكنة فى الأراضى الرملية إذا كانت إضافة الماء ببطء.

تيسر العناصر وعلاقته بالرقم الأيدروجينى للتربة

يتوقف تيسر العناصر المغذية للنبات فى التربة على كل من سعتها التبادلية الكاتيونية وعلى رقمها الأيدروجينى؛ فمعادن الطين تتباين كثيرًا فى سعتها التبادلية الكاتيونية، بينما يتفوق الدبال عليها جميعًا، حيث تصل سعته التبادلية الكاتيونية إلى ٢٠٠، فى الوقت الذى لا يوجد للرمل أى سعة تبادلية كاتيونية. أما الرقم الأيدروجينى فإنه يؤثر بشدة على تيسر العناصر فيها، حيث يُثبت عديد من العناصر (مثل الفوسفور والحديد والمنجنيز والزنك والنحاس) فى التربة عالية القلوية، بينما تتيسر بعض العناصر (مثل الألومنيوم والحديد والزنك) إلى درجة السمية فى الأراضى عالية الحامضية.

التبادل الكاتيونى

عندما تكون الكاتيونات المدمصة على سطح غرويات التربة فى حالة توازن مع المحلول الأرضى فإن تركيز الكاتيونات يقل تدريجيًا كلما ابتعدنا عن سطح غرويات التربة، إلى أن نصل إلى المحلول الحر، الذى يكون مستقلاً عن تأثير الشحنة السالبة لغرويات التربة. ويبين شكل (١٠-١) السلوك العام للكاتيونات فى مثل هذه الحالات.



شكل (١٠-١): سلوك الكاتيونات فى التربة (عن Archer ١٩٨٥).

وفى هذا النظام يوجد — دومًا — تبادل بين الكاتيونات الحرة فى المحلول الأرضى والكاتيونات التى تقع تحت تأثير الشحنة السالبة لسطح غرويات التربة ولكن غير مدمصة عليها، وهى التى تعرف بالكاتيونات المتبادلة Exchangeable Cations. ولحدوث التوازن فى التبادل الكاتيونى، فإن توزيع الكاتيونات يقل تدريجيًّا من المحلول الأرضى الحر باتجاه سطح غرويات التربة.

ويمكن لأى كاتيون أن يحل محل أى كاتيون آخر من المحلول الأرضى الحر. فمثلاً.. يمكن لأيون كالسيوم Ca^{++} أن يحل محله أيونان من البوتاسيوم K^{+}. ويتوقف مدى التبادل الذى يمكن حدوثه على قوة ادمصاص الكاتيون المدمص. ويتوقف ذلك على صفات الكاتيون ذاته وطبيعة غرويات التربة. وعندما يزيد تركيز كاتيون ما فى التربة بالتسميد فإنه يميل إلى التبادل مع الكاتيونات المدمصة بالفعل إلى حين الوصول إلى توازن جديد. ويلاحظ فى الأراضى الحامضية أن أيون الأيدروجين يحل محل بعض الكاتيونات الأخرى.

وتتوقف كفاءة الكاتيون فى أن يحل محل الكاتيونات الأخرى على العوامل التالية:

١– التركيز النسبى للكاتيون فى المحلول الأرضى، ويخضع ذلك لقانون فعل الكتلة mass action.

٢– عدد شحنات الكاتيون، فتزداد الكفاءة مع زيادة عدد الشحنات.

٣– سرعة تحرك الكاتيون أو درجة نشاطه، ويتوقف ذلك على حجم الكاتيون، فكلما كان حجمه صغيرًا، ازدادت كفاءته؛ فتكون الكفاءة أعلى ما يمكن فى الليثيوم Li^+، وأقل فى الصوديوم Na^+، ثم البوتاسيوم K^+، ثم الروبيديم Rb^+، لأن الحجم يزداد حسب الترتيب السابق، لكن يجب أن تؤخذ درجة التشبع المائى Hydration فى الحسبان. فأيون الليثيوم يرتبط به عديد من جزيئات الماء؛ مما يقلل من سرعته ونشاطه بشدة، ولا يستطيع الاقتراب من غرويات التربة بسبب جزيئات الماء المحيطة به، كما يزيد التشبع المائى فى الصوديوم عنه فى البوتاسيوم. وعلى ذلك.. نجد أن الكاتيونات السابقة يعاد ترتيبها هكذا حسب كفاءتها فى الإحلال محل بعضها البعض: Rb^+، ثم K^+، ثم Na^+، ثمLi^+. وإذا ما أُخذت الكاتيونات المختلفة فى الحسبان، فإنه يمكن ترتيبها تنازليًا حسب مقدرتها على الإحلال محل بعضها البعض على سطح غرويات التربة كالتالى:

أيدروجين H^+ ← باريم Ba^+ ← كالسيوم Ca^{++} ← مغنيسيوم Mg^{++} ←

روبيدوم Rb^+ ← بوتاسيوم K^+ ← أمونيا NH_4^+ ← صوديوم Na^+ ← ليثيوم Li^+.

السعة التبادلية الكاتيونية لمعادن الطين

تتباين السعة التبادلية الكاتيونية لمعادن الطين، كما يلى:

مجموعة معدن الطين	السعة التبادلية الكاتيونية (CEC) (cmol (+)/kg)
الكاولينيت kaolinites	٣ – ٢٠
الإليت Illites	١٠ – ٤٠
السمكتيت Semectites	٨٠ – ١٢٠
الفيرميكيوليت Vermiculites	١٠٠ – ١٥٠

وعلى الرغم من أن الشحنات على سطح حبيبات الطين سالبة، فإن الـ CEC تقدر بعدد مولات الكاتيونات (الموجبة الشحنة) المدمصة عليها (White ١٩٩٧).

خفض pH الأراضى القلوية

يستخدم عدد من المواد لإصلاح الأراضى المرتفعة القلوية، ويعتبر الكبريت الزراعى أهم هذه المواد.

يوضح جدول (١٠-٥) الكمية التى تلزم إضافتها من الكبريت لإحداث التعديل المطلوب فى الـ pH فى الأنواع المختلفة من الأراضى.. ويلاحظ من الجدول أن الكميات المضافة من الكبريت تزداد مع زيادة نسبة الطين، ومع ازدياد التغيير المطلوب فى pH التربة.

جدول (١٠-٥): كمية الكبريت التى تلزم إضافتها فى الأنواع المختلفة من الأراضى لإحداث التعديل المطلوب فى pH التربة.

التعديل المطلوب فى pH التربة حتى عمق الحرث	الكمية التى تلزم إضافتها بالكيلوجرام للفدان فى الأراضى		
	الرملية	الطميية	الطينية
٨,٥ — ٦,٥	١٠٠٠	١٢٥٠	١٥٠٠
٨,٠ — ٦,٥	٦٠٠	٧٥٠	١٠٠٠
٧,٥ — ٦,٥	٢٥٠	٤٠٠	٥٠٠
٧,٠ — ٦,٥	٥٠	٧٥	١٥٠

تتراوح نقاوة الكبريت الزراعى — عادة — بين ٥٠٪ و٩٩٪، وتتوقف كفاءته فى خفض pH التربة على مستوى نقاوته ومدى نعومة حبيباته؛ فكلما صَغُرت حبيباته كانت أكثر تأكسدًا فى التربة.

ويوفر الكبريتُ الكالسيومَ بصورة غير مباشرة من خلال تفاعلين يَحْدُثان فى التربة: ففى البداية يتأكسد الكبريت إلى حامض كبريتيك، ثم يتفاعل الحامض المتكون مع كربونات الكالسيوم التى توجد فى التربة ليتكون الجبس.

ويحدث تأكسد الكبريت إلى حامض الكبريتيك بواسطة بكتيريا التربة، وهى عملية بطيئة تتطلب تربة دافئة، ورطبة، وجيدة التهوية؛ ولذا.. فإن إضافة الكبريت للتربة خلال فصل الشتاء ربما لا تأتى بأية نتائج قبل فصل الربيع التالى.

ويضاف الكبريت نثرًا إلى التربة (الكبريت لا يذوب فى الماء ولا تجوز إضافته مع ماء الرى)، ثم يُقلب فيها إلى العمق المطلوب، ثم يروى الحقل جيدًا (عن Branson & Fierman ١٩٨٠)؛ ليمكن التخلص من كبريتات الكالسيوم المتكونة بالصرف.

أما الجبس الزراعى فإن الكميات التى تستخدم منه تتحدد بمقدار الصوديوم المتبادل كما هو مبين فى جدول (١٠-٦).

جدول (١٠-٦): كمية الجبس الزراعى اللازمة للفدان لتعديل الـ pH فى الـ ١٥ سم السطحية من التربة، مقدرة على أساس مقدار الصوديوم المتبادل بها.

الصوديوم المتبادل (مللى مكافئ/١٠٠ جم تربة)	كمية الجبس الزراعى اللازمة (طن/فدان)
١	٠,٩
٢	١,٧
٣	٢,٦
٤	٣,٤
٥	٤,٣
٦	٥,٢
٧	٦,٠
٨	٦,٩
٩	٧,٧
١٠	٨,٦

ويلاحظ أن نسبة النقاوة تتراوح فى الجبس التجارى — عادة — بين ٢٠٪ و٧٠٪. ونظرًا لأن تكلفة نقل الطن الواحد من الجبس وإضافته إلى التربة تكون ثابتة أيا كانت درجة نقاوته؛ لذا.. يفضل استعمال الجبس ذى النقاوة العالية.

ويتعين عند الرغبة فى إصلاح الأراضى القلوية بإضافة الجبس إليها أن يكون المحلول الجبسى مركزًا ليكون الإصلاح أسرع؛ ولذا.. يفضل عندما تكون الأرض شديدة القلوية

إضافة كمية الجبس المقررة مرة واحدة؛ لتسهيل عملية نفاذ الماء خلال التربة، ولإسراع عملية إصلاح الكالسيوم محل الصوديوم، لكن يفضل البعض – وخاصة فى الأراضى الأقل قلوية – إضافة الجبس على فترات ليبقى تركيزه مرتفعًا فى التربة لأطول فترة ممكنة.

ويراعى دائمًا قلب الجبس فى الأرض، مع إضافة ماء الرى باستمرار؛ ليكون إصلاح التربة لأكبر عمق ممكن. ويضاف ماء الرى – عادة – بمعدل ٣٠ فدانًا – سم لكل طن من الجبس الزراعى المستخدم.

وتجدر الإشارة إلى أن كميات الكبريت والجبس اللازمة لإصلاح الأراضى القلوية والمبينة فى جدولى (١٠–٥)، و(١٠–٦) هى كميات تقريبية، وتتوقف الكمية الفعلية التى يتعين إضافتها على العوامل التالية:

١– السعة التبادلية الكاتيونية لغرويات التربة.

٢– نسبة الصوديوم المتبادل منسوبًا إلى مجموع الكاتيونات الأخرى.

٣– مدى الخفض المطلوب الوصول إليه فى نسبة الصوديوم المتبادل إلى مجموع الكاتيونات الأخرى.

٤– العمق المطلوب الوصول إليه فى عملية إصلاح التربة.

٥– نسبة نقاوة الجبس.

رفع pH الأراضى الحامضية

ليس من المنطقى الحديث عن رفع pH الأراضى الحامضية وأراضينا كلها قلوية، ولكنّا نوجز هذا الأمر؛ بهدف استكمال صورة موضوع حموضة التربة وقلويتها فى ذهن القارئ.

يُستخدم فى رفع pH التربة عدد من المركبات؛ أهمها كربونات الكالسيوم (الحجر الجيرى limiestone). ويوضح جدول (١٠–٧) الكميات التى تجب إضافتها من الحجر الجيرى فى الأنواع المختلفة من الأراضى لإحداث التعديل المطلوب فى pH التربة.

جدول (١٠-٧): كميات الحجر الجيرى التى تلزم إضافتها للأنواع المختلفة من الأراضى لإحداث التعديل المطلوب فى pH التربة.

التعديل المطلوب فى pH التربة حتى عمق الحرث	عدد كيلوجرامات الحجر الجيرى اللازمة للفدان فى الأراضى					
	الرملية sandy	الرملية الطميية sandy loam	الطميية loam	السلتية الطميية silt loam	الطينية الطميية clay loam	الملك muck (العضوية)
٤,٠- ٦,٥٠	١٣٠٠	٢٥٠٠	٣٥٠٠	٤٢٠٠	٥٠٠٠	٩٥٠٠
٤,٥-٦,٥٠	١١٠٠	٢١٠٠	٢٩٠٠	٣٥٠٠	٤٢٠٠	٨١٠٠
٥,٠- ٦,٥٠	٩٠٠	١٧٠٠	٢٣٠٠	٢٨٠٠	٣٣٠٠	٦٣٠٠
٥,٥- ٦,٥٠	٦٠٠	١٣٠٠	١٧٠٠	٢٠٠٠	٢٣٠٠	٤٣٠٠
٦,٠- ٦,٥٠	٣٠٠	٧٠٠	٩٠٠	١١٠٠	١٢٠٠	٢٢٠٠

وترجع مشاكل الأراضى الشديدة الحامضية إلى فقرها فى عناصر الفوسفور، والكالسيوم، والمغنيسيوم، والموليبدنم التى تثبت فيها، وزيادة تركيز عنصرى الألومنيوم والمنجنيز بها إلى درجة السميّة.

ومن أهم المحاصيل التى يمكنها النمو فى الأراضى الحامضية: الأناناس، والشاى، والبن، والأرز، والكاسافا، واللوبيا، والفول السودانى. ومن المحاصيل الحساسة لها الذرة، والذرة الرفيعة، والقطن.

زيادة تيسر العناصر فى الأراضى الحامضية

ترتبط مشكلة زيادة تركيز العناصر المعدنية ارتباطًا مباشرًا بانخفاض الرقم الأيدروجينى للتربة فى الأراضى الحامضية. فمع انخفاض pH التربة عن ٥,٠ تتوفر تركيزات عالية من عدد من العناصر، أهمها الألومنيوم (الذى لا يعد من العناصر المغذية الضرورية للنبات)، والحديد، والمنجنيز؛ الأمر الذى يحد من قدرة النباتات على النمو فى تلك الأراضى. ويصبح تركيز الألومنيوم والعناصر الأخرى سامًّا للنباتات فى pH من ٣,٥ إلى ٤,٥.

ومن البديهى أن هذه المشكلة لا توجد فى أراضى المناطق الجافة وشبه الجافة التى يرتفع فيها رقم pH التربة كثيرًا عن نقطة التعادل؛ الأمر الذى يؤدى إلى تثبيت؛ ومن

ثم.. ظهور مشكلة أخرى هى نقص بعض العناصر المغذية، والتى من أهمها: الحديد، والزنك، والمنجنيز.

مشاكل الزراعة فى الأراضى الحامضية

يؤدى انخفاض pH التربة فى الأراضى المعدنية إلى سرعة تيسر ما يتواجد فيها من ألومنيوم؛ مما يؤدى إلى تنظيم الـ pH عند حوالى ٤,٠. وبالمقارنة.. فإن الأراضى العضوية لا يحدث فيها مثل هذا التنظيم بالألومنيوم (لعدم وفرته فيها)، ويمكن أن ينخفض فيها الـ pH عن ٤,٠.

يتوفر الألومنيوم الذى ينطلق من الأراضى المعدنية الحامضية فى ثلاث صور، هى: $Al(OH)_2^+$، و$Al(OH)^{2+}$، و$Al(H_2O)^{3+}$، ويرمز للصورة الأخيرة — عادة — بـ Al^{3+}. ومع غالبية المحاصيل الزراعية يؤدى تواجد الألومنيوم بتركيزات ميكرومولية إلى سرعة تثبيط النمو الجذرى. وبينما تكون الصورة Al^{3+} أكثر الصور سمية للقمح، فإن الصورتين $Al(OH)_2^+$، و$Al(OH)^{2+}$ تعدان أكثر سمية بالنسبة لذوات الفلقتين.

تعد الصورة الأيونية للألومنيوم هى السامة للنباتات؛ فهى تثبط استطالة الجذور بإتلافها لتركيب خلايا القمة النامية الجذرية؛ ومن ثم فهى تؤثر فى امتصاص الجذور للماء والعناصر؛ مما يؤثر سلبًا — بشدة — على نمو وتطور النباتات. كذلك يثبت الفوسفور بسهولة بمعادن التربة التى تكثر فى الأراضى الحامضية، بما فى ذلك أكاسيد الحديد والكاولينيت kaolinte؛ ومن ثم يصبح غير ميسر لامتصاص الجذور. يتبين مما تقدم بيانه أن سمية الألومنيوم والمنجنيز والحديد ونقص الفوسفور هى أهم العوامل التى تحد من النمو النباتى فى الأراضى الحامضية.

وفى بعض الأراضى المعدنية الحامضية تكون سمية المنجنيز أكثر أهمية عن سمية الألومنيوم فى الحد من إنتاجية المحاصيل الزراعية. كذلك تعانى النباتات فى الأراضى الحامضية من نقص عناصر الفوسفور والنيتروجين والكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم. كما

تشكل الأراضى الحامضية مشكلة إضافية بالنسبة للبقوليات بسبب حساسية بكتيريا الرايزوبيم الجذرية للحموضة. وبينما يسود أيون الأيدروجين فى الأراضى العضوية الحامضية، فإنه لا يعرف على وجه الدقة كيفية تعامل النباتات مع التركيزات العالية منه. ويبدو أن تحمل أيونًا الألومنيوم والأيدروجين يتحكم فيه آليات مختلفة (Samac & Tesfaye ٢٠٠٣).

وتؤدى إضافة مواد قلوية للتربة الحامضية مثل الجير (كربونات الكالسيوم أساسًا) إلى رفع pH التربة؛ مما يلغى سمية الألومنيوم، كما يؤدى التسميد بالفوسفور إلى توفره دونما تثبيت. هذا إلا أن للتربة قدرة تنظيمية هائلة؛ مما يحد من تأثير أية إضافات للتربة ويجعلها غير مستدامة. كذلك فإن تأثير الإضافات لا يصل إلى الطبقة تحت السطحية من التربة التى تنمو إليها الجذور المتعمقة (Zheng ٢٠١٠).

ولقد وجد أن للتسميد العضوى الجيد تأثير مؤقت فى تخفيف حدة التسمم بالألومنيوم؛ ذلك لأن الدبال والأحماض العضوية تكوّن معقدات مع الألومنيوم فى المحلول الأرضى؛ مما يفقده سميته. كما أن التسميد العضوى يُحدث ارتفاعًا مؤقتًا فى pH التربة؛ بسبب تكوين الأحماض العضوية لمعقدات مع البروتونات protons واستهلاك تلك البروتونات فى عملية الـ decarboxylation للأحماض العضوية (Samac & Tesfaye ٢٠٠٣).

آليات سمية الألومنيوم

يمكن إيجاز آليات سمية الألومنيوم للنباتات فيما يلى:

١- عند انخفاض pH التربة إلى أقل من ٥,٠ يصبح الألومنيوم ذائبًا فى محلول التربة ومتواجدًا فى صورة أيونية.

٢- فى خلال دقائق يؤثر الألومنيوم بتثبيط النمو الجذرى والإضرار به؛ مما يحد من امتصاص الماء والعناصر.

٣- يبدأ هذا التأثير بمنع الألومنيوم لزيادة خلايا الجذر فى الحجم ومنع استطالتها، ويلى ذلك منع انقسامها كذلك.

٤- تكون القمة النامية الجذرية هى الموقع الذى تحدث فيه سمية الألومنيوم.

٥- يحدث تأثير الألومنيوم فى كل من الجدر الخلوية، والأغشية البروتوبلازمية والسيتوبلازمية والنواة.

٦- على الرغم من تواجد معظم الألومنيوم فى الجدر الخلوية، فإن جانبًا صغيرًا منه سريعًا ما يصل إلى السيتوبلازم ويتفاعل مع مواقع معينة منه.

٧- يُعطل الألومنيوم ديناميكية عمل عضيات السيتوبلازم، ويتفاعل مع الـ microtubules وغيرها من العضيات.

٨- يتفاعل الألومنيوم مع إشارات بداية مسارات أيضية معينة، وخاصة ما يعرف باسم Ca^{2+} homeostasis and signaling.

٩- يثير الألومنيوم تخليق العناصر المؤكسدة ROS، وأضرار الأكسدة بالأغشية البلازمية، والاختلال الوظيفيى للميتوكوندريات (Kochian وآخرون ٢٠٠٤).

وتبدأ سمية الألومنيوم بما يحدثه من عدم ثبات للأغشية البلازمية. يكون الألومنيوم معقدات مع كثير من الجزيئات الحيوية، وخاصة الأحماض الكربوكسيلية، مثل حامض الستريك، كذلك فإن الهلام النباتى mucilage ربما يقلل من امتصاص الجذور للألومنيوم. وترجع معظم العيوب الفسيولوجية التى تحدثها سمية الألومنيوم إلى اتحاده مع البروتينات، وما يترتب على ذلك من تغيرات فى بنية وشكل جزيئاتها، ولعل أبرزها التغيرات التى يحدثها الألومنيوم فى بنية وشكل الـ calmodulin.

تؤدى سمية الألومنيوم إلى تقليل النمو الجذرى، وتغير لونه، ومنع تكوين التفرعات الجذرية. وعمومًا.. تكون البادرات أكثر حساسية لزيادة الألومنيوم عن النباتات الأكبر سنًّا. كذلك تستحث سمية الألومنيوم نقصًا فى كل من الفوسفور والكالسيوم والحديد، وقد تظهر أعراض نقصها.

آليات تحمل الألومنيوم

إن من أهم آليات تحمل الألومنيوم فى النباتات، ما يلى:

أولاً: آليات تحد من وصول الألومنيوم لسيتوبلازم الخلايا.

١- إفراز الجذور لأحماض عضوية.

٢- وقف حركة الألومنيوم عند الجدار الخلوى.

٣- إفراز أيون الفوسفات.

٤- التدفق النشط للألومنيوم عبر الغشاء البلازمى.

٥- إفراز هُلام جذرى.

٦- استبعاد الألومنيوم بتغيير pH المحيط الجذرى.

٧- النفاذية الاختيارية للغشاء البلازمى.

ثانيًا: آليات تحمل الألومنيوم داخليًّا:

١- وجود بروتينات يرتبط بها الألومنيوم.

٢- تحديد تواجد الألومنيوم فى الفجوات العصارية.

٣- انطلاق إنزيمات متحملة للألومنيوم.

٤- زيادة نشاط الإنزيمات (Hede وآخرون ٢٠٠١).

وباختصار.. فإنه تُعرف وسيلتان تتحمل بهما النباتات التركيزات العالية من الألومنيوم، وذلك من خلال مجموعتين من الآليات، هما: آليات استبعاد الألومنيوم من الوصول إلى القمة الجذرية النامية، وآليات تحمل النبات لتراكم الألومنيوم فى سيتوبلازم الجذور والنموات الخضرية (Kochian ١٩٩٥).

ولمزيد من التفاصيل .. فإن النباتات المقاومة تتجنب أضرار زيادة تركيز العنصر وسميته بواحدة أو أكثر من الآليات التالية:

١-رفع pH التربة فى المحيط الجذرى؛ مما يقلل من درجة ذوبان الألومنيوم وامتصاصه، وتعرف تلك الآلية فى التراكيب الوراثية المقاومة للألومنيوم فى كل من القمح والشعير والأرز والبسلة والذرة.

٢-فى بعض الحالات يُمنع الألومنيوم من دخول الجذر كما فى صنف القمح Atlas-66. وربما يكون مرد ذلك إلى خصائص معينة فى الأغشية البلازمية بالجذور، أو إلى حدوث تفاعل بين الألومنيوم والمواد الهلامية أو الأغشية الخلوية.

٣-قد يُحدَّد تواجد الألومنيوم فى حجيرات خاصة بخلايا الجذر؛ وبذا.. لا يصل العنصر إلى النموات الخضرية؛ الأمر الذى يحدث فى التراكيب الوراثية المقاومة للألومنيوم من كل من الراى والترتيكيل والبرسيم الحجازى. وربما يرجع ذلك إلى خلب الألومنيوم فى الجذور بالأحماض العضوية.

٤-قد تتراكم تركيزات عالية من الألومنيوم فى الأوراق المسنة، بينما تحتوى الأوراق الحديثة من نفس النباتات على تركيزات أقل من العنصر، وذلك كما فى نبات الشاى المقاوم للألومنيوم.

٥-يتراكم فى النباتات النامية — المقاومة للألومنيوم — من بعض النباتات تركيزات من العنصر، ويبدو أن ذلك يحدث بحجز العنصر فيما بين الخلايا.

٦-فى كثير من الأحيان قد تتضمن المقاومة للألومنيوم جوانب تغذية معينة، مثل تحمل التراكيزات العالية من الأمونيوم فى الأراضى الشديدة الحامضية كما فى قصب السكر والبلوبرى، والقدرة على استعمال النترات فى وجود تركيزات عالية من الأمونيوم كما فى القمح، والمقاومة لنقص الكالسيوم كما فى فول الصويا والقمح والشعير بسبب زيادة القدرة على امتصاص الكالسيوم، والمقاومة لنقص الفوسفور كما فى القمح والذرة والطماطم بسبب زيادة القدرة على امتصاص الفوسفور أو تحمل المستويات المنخفضة من العنصر (Singh ١٩٩٣).

أهمية توفير بعض العناصر النادرة

الكوبالت

أدى رفع مستوى الإثيلين الداخلى فى نباتات الكوسة بنقع البذور قبل زراعتها فى تركيز منخفض من الكوبالت (جزء واحد فى المليون من Co^{2+})، أو الـ aminocyclopropane carboxylic acid (٥٠٠ ميكرومول) إلى زيادة النمو النباتى وإنتاج الأزهار المؤنثة والمحصول (Atta-Aly ١٩٩٨، وAtta-Aly & Brecht ١٩٩٩).

النيكل

أدى رش نباتات الفراولة (صنف Pajero) بالهرمون النباتى الطبيعى حامض السلسيلك salicylic acid بتركيز ٢ مللى مول إلى زيادة الوزن الطازج للنموين الجذرى والخضرى، كذلك أدت المعاملة إلى زيادة محتوى الأوراق والثمار من كل من النيتروجين والنيكل. وفى المقابل.. أدى رش النباتات بالنيكل بتركيز ١٥٠ مجم/لتر إلى زيادة المحصول والوزن الجاف للمجموع الجذرى وتركيز النيتروجين بالثمار. هذا.. وكانت تلك التأثيرات أكثر وضوحًا عندما جُمِعَ بين المعاملتين (Jamali وآخرون ٢٠١٣).

وسائل التغلب على بعض مشاكل التربة

تكوين القشور السطحية التى تعوق الإنبات

أدى نثر الجبس الفوسفورى phosphogypsum بمعدل ٢ أو ٤ طن/ هكتار (٠,٨٤ – ١,٦٨ طن للفدان) بعد بذر بذور البصل إلى تحسين إنبات البذور ونفاذية التربة للماء؛ بسبب تأثير المعاملة على منع تكون القشور السطحية، فضلاً عن تحسين المعاملة للنمو النباتى الجذرى والخضرى (Ramirez وآخرون ١٩٩٧).

التربة الجيرية

دُرس تأثير التلقيح بالسلالات البكتيرية المنشطة للنمو النباتى: 637Ca من *Alcaligens*، وMFDCa-1 وMFDCa-2 من *Staphylococcus*، وA18 من

Agrobacterium، وFF1 من *Pantoea*، وM3 من *Bacillus* ووجد أن جميعها أسهمت فى التغلب على التأثير السلبى للتربة الجيرية على محصول الثمار والنمو والتغذية فى الفراولة، وكانت أفضل السلالات البكتيرية هى 637Ca التى أحدثت زيادة جوهرية فى كل من محصول الثمار ووزن الثمرة وحجمها بلغت ٤٧,٥٪، و٣٤,٧٪، و٩,٤٪، على التوالى، مقارنة بالوضع فى معاملة الكنترول. وباستثناء المغنيسيوم والزنك بالأوراق، فإن تركيز جميع العناصر المغذية الأخرى (النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والحديد، والنحاس، والمنجنيز، والبورون) ازداد بالتقليح بالبكتيريا المنشطة للنمو فى التربة الجيرية (Ipek وآخرون ٢٠١٤).

وقد دُرِست إمكانية تحسين تحمل الطماطم للقلوية بتطعيمها على أصول مختلفة، هى: الباذنجان، والداتورة، وعنب الثعلب البرتقالى، وتبغ إيرانى محلى، والطماطم، مع تعريضها لبيكربونات الصوديوم ($NaHCO_3$) بتركيز صفر، و٥، و١٠ مللى مول. وقد وجد أن الوزن الطازج للكتلة البيولوجية لكل من الطماطم المطعومة وغير المطعومة ينخفض جوهريًّا مع زيادة تركيز بيكربونات الصوديوم. وعندما كان التطعيم على الداتورة، لم تؤثر القلوية على الوزن الطازج للساق والجذور، ومحتوى النمو الخضرى من الفوسفور والبوتاسيوم والمغنيسيوم، وذلك على خلاف الوضع عندما كان التطعيم على الأصول الأخرى أو عدم التطعيم، وكان أعلى محتوى للبرولين بالأوراق عندما كان التطعيم على الداتورة. كذلك كان محتوى الأوراق من الصوديوم الأقل فى النباتات المطعومة على الداتورة. وبصورة عامة.. فإن التطعيم على الداتورة حسَّنَ من تحمل القلوية فى نباتات الطماطم النامية فى ظروف الشد ببيكربونات الصوديوم (Mohsenian & Roosta ٢٠١٥).

نقص البوتاسيوم

يُعد التطعيم وسيلة سريعة لتحمل مختلف عوامل الشد البيئى، وقد دُرس احتمال تغلب تطعيم الطماطم على الشدِّ الناشئ عن النقص المعتدل فى البوتاسيوم (٤مللى مول)، مقارنة بالمستوى الطبيعى للعنصر (٨ مللى مول) فى المحلول المغذى، وخاصة على

محصول الثمار وجودتها، وذلك عند استعمال Maxifort، وBrigeor كأصول. وقد وجد أن نقص البوتاسيوم أدى إلى تقليل النمو الجذرى والمحصول ومظهر الثمار ومحتواها من الكاروتينات. وفى المقابل.. ازداد مع نقص البوتاسيوم كلا من صلابة الثمار ومحتواها من مختلف السكريات والسكريات الكلية. وفى معظم الصفات التى تأثرت سلبًا بنقص البوتاسيوم.. أدى التطعيم إلى التغلب على تلك التأثيرات؛ فأدى التطعيم إلى تحسين نمو الجذور والمحصول وتركيز الكاروتينات بالثمار، وكذلك الأحماض المعايرة، وخاصة عند نقص البوتاسيوم، وقلت كذلك بالتطعيم حالات الإصابة بتعفن الطرف الزهرى. هذا.. إلا أن مدى التغلب على شد نقص البوتاسيوم تباين باختلاف الأصل والطعم المستخدمين (Schwarz وآخرون ٢٠١٣).

كما دُرس تأثير تطعيم صنف البطيخ Zaochunhongu على الأصول: Hongdun (وهو: *C. lanatus*)، وJingxinzhen No.4 (وهو: *Cucurbita moschata*)، وNabizhen (وهو: *Lagenaria siceraria*) فى مستويين من البوتاسيوم بالمحلول المغذى: منخفض (٠,٦ مللى مول)، وعالٍ (٦,٠ مللى مول) لمدة ٢٠ يومًا فى مزرعة مائية. وقد وجد أن النباتات التى أُعطيت مستوى منخفض من البوتاسيوم كانت أقل فى نموها الخضرى والجذرى، مقارنة بنمو النباتات التى أُعطيت مستوى عادى من البوتاسيوم. هذا.. إلا أن هذا النقص فى النمو (الوزن الجاف للنمو الخضرى) جراء النقص فى مستوى البوتاسيوم فى المحلول المغذى كان أقل فى حالة التطعيم، حيث بلغ ٣٪ عند استعمال Jingxinzhen No.4 كأصل، و٥٪ عند استعمال الأصل Hongdun، بينما كان النقص ٢٣٪ فى النباتات غير المطعومة. وفى ظل هذا المستوى المنخفض من البوتاسيوم كان حجم عصير الخشب، والكمية الكلية للبوتاسيوم فى الخشب، والبوتاسيوم المتراكم فى النموات الخضرية، وكفاءة امتصاص البوتاسيوم، ومعدل النتح بالأوراق أعلى جوهريًا فى النباتات المطعومة على أى من الأصلينJingxinzhen No.4، وHongdun، مقارنة بالوضع فى النباتات غير المطعومة (Huang وآخرون ٢٠١٣).

سمية المنجنيز

يحدث التسمم من التركيزات العالية من المنجنيز بزيادته لجذور الأيدروكسيد hydroxyl radical (أو OH.) فى الجدُر الخلوية بالأوراق. وقد وُجد أن إضافة السيليكون للمحلول المغذى ذات التركيز العالى من المنجنيز (١٠٠ ميكرومول) أدى إلى اختفاء أعراض التسمم من المنجنيز بأوراق الخيار، وحدث انخفاض جوهرى فى تركيز المنجنيز الحر Mn^{2+} وفوق أكسيد الأيدروجين بالجدر الخلوية لأوراق النباتات على الرغم من استمرار ارتفاع محتوى المنجنيز بالأوراق (Maksimovic وآخرون ٢٠١٢).

سمية الألومنيوم

وجد أنه فى ظروف نقص البورون تزداد قوة ارتباط الألومنيوم بالبكتين فى الجدر الخلوية للقمة النامية الجذرية فى الفاصوليا؛ الأمر الذى يؤخر الإفلات من شدّ الألومنيوم، الذى يحدث بفعل إفرازات الجذور من حامض الستريك؛ وهو ما يفسر زيادة الحساسية للألومنيوم فى جذور الفاصوليا عند نقص البورون (Stass وآخرون ٢٠٠٧).

سمية البورون

تؤدى زيادة مستوى البورون فى بيئة زراعة الطماطم إلى حث تكوين العناصر المحبة للأكسدة فى الأوراق، ومن ثم ظهور أضرار الأكسدة (Cervilla وآخرون ٢٠٠٧).

وأدت زيادة البورون حتى ٢ مللى مول B إلى تثبيط نمو جذور الطماطم وزيادة تركيز العنصر بالأوراق، بينما لم تُحدث تلك الزيادة فى البورون الميسر أى أضرار أكسدة أو أى أضرار للأغشية البلازمية (Cervilla وآخرون ٢٠٠٩).

تقسيم المحاصيل الزراعية حسب تحملها للبورون

تُقسم المحاصيل الزراعية (الخضر والفاكهة والزهور ونباتات الزينة والمحاصيل الحقلية) حسب تحملها للبورون إلى خمس مجموعات كما يظهر فى جدول (١٠-٨) (عن USDA ٢٠٠٧).

جدول (١٠-٨): تقسم محاصيل الخضر والفاكهة والزينة والمحاصيل الحقلية حسب تحملها لزيادة البورون.

الفئة	المحصول	الحد الأقصى الذى يمكن تحمله (مجم/لتر)	النقص فى المحصول مع كل زيادة قدرها ملليجرام واحد/لتر (%)
شديدة الحساسية	الليمون الأضاليا	< ٠,٥	–
	نباتات الزينة:		
	Oregon grape *Mahonia aquifolium*	< ٠,٥	–
	Photinia *fraseri× Photinia*	< ٠,٥	–
	Xylosma *Xylosma congestum*	< ٠,٥	–
	Thorny elaeagnus *Elaeagnus pungens*	< ٠,٥	–
	Laurustinus *Viburnum tinus*	< ٠,٥	–
	Wax-leaf privet *Ligustrum japonicum*	< ٠,٥	–
	Pineapple guava *Feijoa sellowiana*	< ٠,٥	–
	Spindle tree *Euonymus japonica*	< ٠,٥	–
	Jananese pittosporum *Pittosporum tobira*	< ٠,٥	–
	Chinese holly *Ilex cornuta*	< ٠,٥	–
	Juniper *Juniperus chinensis*	< ٠,٥	–
	Yellow sage *Lantana camara*	< ٠,٥	–
	America elm *Ulmus americana*	< ٠,٥	–
حساسة	الأفوكادو	٠,٥-٠,٧٥	–
	الجريب فروت	٠,٥-٠,٧٥	–
	البرتقال	٠,٥-٠,٧٥	–
	المشمش	٠,٥-٠,٧٥	–
	الخوخ	٠,٥-٠,٧٥	–
	الكريز	٠,٥-٠,٧٥	–
	البرقوق	٠,٥-٠,٧٥	–
	البرسيمون	٠,٥-٠,٧٥	–
	التين	٠,٥-٠,٧٥	–
	العنب	٠,٥-٠,٧٥	–

يتبع

تابع جدول (١٠-٨)

الفئة	المحصول	الحد الأقصى الذى يمكن تحمله (مجم/لتر)	النقص فى المحصول مع كل زيادة قدرها ملليجرام واحد /لتر (٪)
	الجوز	٠,٥ — ٠,٧٥	–
	البيكان	٠,٥ — ٠,٧٥	–
	البصل	٠,٥ — ٠,٧٥	–
	الثوم	٠,٧٥ — ١,٠	–
	البطاطا	٠,٧٥ — ١,٠	–
	القمح	٠,٧٥ — ١,٠	٣,٣
	دوار الشمس	٠,٧٥ — ١,٠	–
	فاصوليا المنج	٠,٧٥ — ١,٠	–
	السمسم	٠,٧٥ — ١,٠	–
	الترمس	٠,٧٥ — ١,٠	–
	الفراولة	٠,٧٥ — ١,٠	–
	الطرطوفة	٠,٧٥ — ١,٠	–
	الفاصوليا الجافة	٠,٧٥ — ١,٠	–
	الفاصوليا الخضراء	١,٠	١٢
	فاصوليا الليما	٠,٧٥ — ١,٠	–
	الفول السودانى	٠,٧٥ — ١,٠	–
	نباتات الزينة :		
	Zinnia *Zinnia eleganus*	٠,٥ — ١,٠	–
	Pansy *Viola tricolor*	٠,٥ — ١,٠	–
	Violet *V. odorata*	٠,٥ — ١,٠	–
	Larkspur *Delphinium* sp.	٠,٥ — ١,٠	–
	Glossy albelia *Abelia × grandiflora*	٠,٥ — ١,٠	–
	Rosemary *Rosmarinus officinalis*	٠,٥ — ١,٠	–
	Oriental arborvitae *Platyycladus orientalis*	٠,٥ — ١,٠	–
	Geranium *Pelargonium × hortorum*	٠,٥ — ١,٠	–
متوسطة الحساسية	البروكولى	١,٠	١,٨
	الفلفل	١,٠ — ٢,٠	–

يتبع

تابع جدول (١٠-٨)

الفئة	المحصول	الحد الأقصى الذى يمكن تحمله (مجم/لتر)	النقص فى المحصول مع كل زيادة قدرها ملليجرام واحد/لتر (%)
	البسلة	١,٠- ٢,٠	–
	الجزر	١,٠- ٢,٠	–
	الفجل	١,٠	١,٤
	البطاطس	١,٠- ٢,٠	–
	الخيار	١,٠- ٢,٠	–
	الخس	١,٣	١,٧
	نباتات الزينة :		
	Gladiolus *Gladiolus* sp.	١,٠- ٢,٠	–
	Marigold *Calendula officinalis*	١,٠- ٢,٠	–
	Poinsettia *Euphorbia pulcherrima*	١,٠- ٢,٠	–
	China aster *Callistephus chinensis*	١,٠- ٢,٠	–
	Gardenia *Gardenia* sp.	١,٠- ٢,٠	–
	Southern yew *Podocarpus marcophyllus*	١,٠- ٢,٠	–
	Brush cherry *Syzygium paniculatum*	١,٠- ٢,٠	–
	Blue dracaena *Cordyline indivisa*	١,٠- ٢,٠	–
	Ceniza *Leucophyllus frutescens*	١,٠- ٢,٠	–
متوسطة التحمل	الكرنب	٢,٠- ٤,٠	–
	اللفت	٢,٠- ٤٠,٠	–
	الشعير	٣,٤	٤,٤
	اللوبيا	٢,٥	١٢
	الشوفان	٢,٠- ٤,٠	–
	الذرة الشامية	٢,٠- ٤,٠	–
	الخرشوف	٢,٠- ٤,٠	–
	التبغ	٢,٠- ٤,٠	–
	المسترد	٢,٠- ٤,٠	–
	الكوسة	٢,٠- ٤,٠	–

يتبع

تابع (جدول ١٠-٨)

الفئة	المحصول	الحد الأقصى الذى يمكن تحمله (مجم/لتر)	النقص فى المحصول مع كل زيادة قدرها ملليجرام واحد/لتر (%)
	الكنتالوب	٢,٠- ٤,٠	–
	القنبيط	٤,٠	١,٩
	نباتات الزينة:		
	Bottlebrush *Callistemon citrinus*	٢,٠- ٤,٠	–
	California poppy *Escholzia californica*	٢,٠- ٤,٠	–
	Japanese boxwood *Buxus microphylla*	٢,٠- ٤,٠	–
	Oleander *Nerium oleander*	٢,٠- ٤,٠	–
	Chinese hibiscus *Hibiscus rosa-senensis*	٢,٠- ٤,٠	–
	Sweet pea *Lathyrus odoratus*	٢,٠- ٤,٠	–
	Carnation *Dianthus caryophyllus*	٢,٠- ٤,٠	–
متحملة	البرسيم الحجازى	٤,٠- ٦,٠	–
	البقدونس	٤,٠- ٦,٠	–
	بنجر المائدة	٤,٠- ٦,٠	–
	بنجر السكر	٤,٩	٤,١
	الطماطم	٥,٧	٣,٤
	السورجم	٧,٤	٤,٧
	القطن	٦,٠- ١٠,٠	–
	الكرفس	٩,٨	٣,٢
	الأسبرجس	١٠,٠- ١٥,٠	–
	نباتات الزينة:		
	Indian hawthorn *Raphiolepis indica*	٦,٠- ٨,٠	–
	Natal plum *Carissa grandiflora*	٦,٠- ٨,٠	–
	Oxalis *Oxalis bowiei*	٦,٠- ٨,٠	–

وسائل التغلب على سمية البورون

زيادة التسمير الفوسفاتى

تؤدى زيادة تيسر البورون للطماطم إلى خفض الوزن الجاف للنباتات ومحتواها من

الكلوروفيل، إلاّ أن زيادة مستوى الفوسفور الميسر إلى ٠,٥ أو ١ مللى مول P — مع وجود مستوى عالٍ من البورون — أدت إلى زيادة الوزن الجاف للنباتات ومحصول الثمار والمحتوى الكلوروفيلى، مقارنة بزيادة البورون منفردًا (Kaya وآخرون ٢٠٠٩).

المعاملة بالسيليكون

تُفيد المعاملة بالسيليكون فى الحد من سمية البورون، بمنعه للضرر التأكسدى للأغشية الخلوية، ولانتقال البورون من الجذور إلى النموات الخضرية (Gunes وآخرون ٢٠٠٧).

التطعيم

عندما طُعِّم صنف الكنتالوب Arava على الأصل التجارى TZ-148 للهجين النوعى: *C. maxima* x *C. moschata* وكان الرى بمياه تراوح فيها تركيز البورون بين ٠,١، و١٠,٤ مجم/لتر .. ازداد تركيز البورون فى النباتات خطيًّا مع تركيزه فى ماء الرى، وكان أعلى تركيز فى الأوراق المسنة، وأقل تركيز فى الثمار، بينما كان تركيز العنصر وسطًا فى الجذور. وكان تركيز البورون — بصورة عامة — أقل جوهريًّا فى النباتات المطعومة عما فى نباتات الكنترول (غير المطعومة)، وربما كان مرد ذلك إلى أن جذور الأصل كانت أكثر اختيارية وأقل امتصاصًا للبورون عن جذور الكنتالوب. هذا.. وقد انخفض محصول الثمار وتراكم الوزن الجاف فى النموات الخضرية خطيًّا مع زيادة البورون فى ماء الرى، وكانت النباتات غير المطعومة أكثر حساسية لمستوى البورون عن النباتات المطعومة (Edelstein وآخرون ٢٠٠٧).



الفصل الحادى عشر

الشد الناشئ عن التباينات فى نوعية مياه الرى

مياه الرى ونوعيتها

مصادر مياه الرى كثيرة ومتنوعة، وتختلف كثيرًا فى نوعيتها. ومن الأهمية بمكان الإلمام بخصائص المياه المستعملة فى الرى؛ لما لذلك من علاقة أكيدة بالمحصول المتوقع، ومن تأثير على بناء التربة.

تقسيم مياه الرى حسب مستوى ملوحتها

تتناسب درجة التوصيل الكهربائى لماء الرى تناسبًا طرديًا مع درجة ملوحته. وتقسم مياه الرى حسب درجة توصيلها الكهربائى (ECw) إلى ست درجات كما يلى:

١- الدرجة الأولى:

تتراوح درجة التوصيل الكهربائى فيها بين صفر و ٠,٢٥ مللى موز (صفر – ١٥٠ جزءًا فى المليون من الأملاح)، وملوحتها منخفضة، ويمكن استعمال هذه المياه فى رى المحاصيل فى معظم الأراضى، دون أى احتمال لحدوث مشاكل ملوحة. ويلزم توفير صرف مناسب للماء الزائد فى الأراضى الضعيفة النفاذية.

٢- الدرجة الثانية:

تتراوح درجة التوصيل الكهربائى فيها بين ٠,٢٥ و٠,٧٥ مللى موز (١٥٠- ٥٠٠ جزءٍ فى المليون من الأملاح)، وملوحتها معتدلة، ويمكن استعمال هذه المياه فى رى معظم المحاصيل ما عدا الشديدة الحساسية، وفى معظم الأراضى، ما عدا القليلة النفاذية؛ حيث يجب توفير صرف جيد للسماح بغسل الأملاح.

٣- الدرجة الثالثة:

تتراوح درجة التوصيل الكهربائى فيها بين ٠,٧٥ و ٢,٢٥ مللى موز (من ٥٠٠ - ١٥٠٠ جزءٍ فى المليون من الأملاح تقريبًا)، وملوحتها معتدلة إلى عالية، ويجب قصر استعمال هذه المياه على الأراضى المتوسطة إلى العالية النفاذية، كما يحسن غسل الأملاح بصفة دورية؛ تجنبًا لمشاكل الملوحة، كذلك يجب أن يقتصر استعمال هذه المياه على المحاصيل المتوسطة إلى العالية فى قدرتها على تحمل الملوحة.

٤- الدرجة الرابعة:

تتراوح درجة التوصيل الكهربائى فيها بين ٢,٢٥ و٤,٠ مللى موز (من ١٥٠٠-٢٥٠٠ جزءٍ فى المليون من الأملاح تقريبًا)، وملوحتها عالية، ويمكن استعمالها فى رى المحاصيل ذات القدرة العالية على تحمل الملوحة عند زراعتها فى الأراضى العالية النفاذية، بشرط توفير صرف جيد.

٥- الدرجة الخامسة:

تتراوح درجة توصيلها الكهربائى بين ٤,٠ و٦,٠ مللى موز (من ٢٥٠٠-٤٠٠٠ جزء فى المليون من الأملاح تقريبًا)، وملوحتها عالية جدًّا، وتستعمل تحت الظروف التى تستخدم فيها مياه الدرجة الرابعة، بشرط توفير غسيل دائم، وإن كان لا ينصح باستعمال هذه المياه فى الرى.

٦- الدرجة السادسة:

تزيد درجة التوصيل الكهربائى فيها على ٦,٠ مللى موز (يزيد تركيز الأملاح على ٤٠٠٠ جزء فى المليون)، وملوحتها عالية جدًّا بدرجة لا ينصح معها استعمال هذه المياه فى الرى (عن Thorne & Peterson ١٩٥٤).

هذا.. ويبلغ تركيز الأملاح فى الماء الأرضى ٢- ١٠٠ ضعف تركيزه فى ماء الرى حسب

الحالة؛ ففى الأراضى الرملية التى تروى بغزارة قد يقترب تركيز الأملاح فى الماء الأرضى من تركيزه فى ماء الرى. أما فى الأراضى الثقيلة .. فقد يصل تركيز الأملاح فى الماء الأرضى إلى ١٠٠ ضعف تركيزه فى ماء الرى (Israelsen & Hansen ١٩٦٢).

وبصفة عامة.. فإن الأراضى الرملية لا تُضارُّ من استعمال المياه المرتفعة الملوحة فى الرى كما تضار الأراضى الثقيلة، كما أن توفير الجبس فى التربة يقلل من أضرار زيادة الأملاح فى ماء الرى. وعند استعمال هذه المياه يجب أن تغسل التربة بصفة دورية؛ لأن ذلك يساعد على التخلص من الأملاح المتراكمة، وقد يقلل من الصوديوم المتبادل.

وتجدر الإشارة إلى أن عددًا كبيرًا من الأنواع النباتية يمكنه تحمل تركيز مرتفع للأملاح فى مياه الرى إذا كان المحلول الأرضى فى حالة توازن فسيولوجى، كما فى ماء البحر.

تقسيم مياه الرى حسب محتواها من الصوديوم

عندما تزيد نسبة الصوديوم إلى الكالسيوم والمغنيسيوم ($\frac{Na}{Mg + Ca}$ ، معبرًا عن التركيزات بالمللى مكافئ/لتر) على الواحد الصحيح، فإن الصوديوم يتراكم فى التربة، وتصبح الأرض قلوية. ويفضل التعبير عن محتوى التربة من الصوديوم كنسبة مئوية من الكاتيونات المتبادلة كلها ($\frac{١٠٠ \times Na}{K + Na + Mg + Ca}$ ، مع التعبير عن كل التركيزات بالمللى مكافئ/لتر). ومع زيادة الصوديوم فى ماء الرى يزداد الصوديوم المتبادل فى التربة، وتزداد مشاكل القلوية.

وتقسم مياه الرى حسب محتواها من الصوديوم إلى أربعة أقسام:

١- مياه منخفضة فى محتواها من الصوديوم: ويمكن استخدامها تقريبًا فى كل أنواع الأراضى ، دون خوف من تراكم كميات ضارة من الصوديوم المتبادل.

٢- مياه متوسطة فى محتواها من الصوديوم: ويمكن استخدامها دون مشاكل فى الأراضى الخشنة القوام ذات النفاذية العالية، ولكن استعمالها فى الأراضى التى تحتوى على نسبة مرتفعة من الطين، والمنخفضة فى محتواها من المادة العضوية يؤدى إلى تراكم الصوديوم؛ لأن نفاذيتها تكون منخفضة، إلا إذا توفر الجبس فى التربة.

٣– مياه مرتفعة فى محتواها من الصوديوم: يؤدى استعمالها فى الرى إلى تراكم الصوديوم بشدة فى معظم الأراضى التى لا تحتوى على الجبس. ويتطلب استعمالها عناية خاصة؛ إذ يلزم توفير صرفٍ جيدٍ وغسيلٍ جيدٍ، مع إضافة المادة العضوية لتحسين صفات التربة الطبيعية، ويلزم أحيانًا إضافة الجبس الزراعى لإحلال الكالسيوم محل الصوديوم على حبيبات الطين.

٤– مياه مرتفعة جدًّا فى محتواها من الصوديوم: وهذه لا يمكن استعمالها فى الرى إلا إذا كانت منخفضة فى محتواها من الأملاح الكلية؛ حيث يمكن تلافى أضرار الصوديوم باستخدام الجبس الزراعى والغسيل الجيد، كما يمكن إضافة الجبس الزراعى إلى ماء الرى نفسه بطريقة آلية.

تقسيم مياه الرى حسب محتواها من البورون

نظرًا لتفاوت المحاصيل المختلفة فى تحملها للبورون، فإن مياه الرى تقسم من حيث نوعيتها تقسيمًا يأخذ فى حسبانه درجة حساسية المحاصيل للبورون كما فى جدول (١١–١).

جدول (١١–١): تقسيم مياه الرى حسب محتواها من البورون ومدى صلاحيتها لرى المحاصيل المختلفة.

نوعية المياه ومدى صلاحيتها للرى	الحد الأقصى لمحتوى المياه من البورون (بالجزء فى المليون) بالنسبة للمحاصيل		
	الحساسة للبورون	المتوسطة التحمل للبورون	العالية التحمل للبورون
ممتازة	> ٠,٣٣	> ٠,٦٧	> ١,٠٠
جيدة	٠,٣٣–٠,٦٧	٠,٦٧–١,٣٣	١,٠٠–٢,٠٠
مقبولة	٠,٦٧–١,٠٠	١,٣٣–٢,٠٠	٢,٠٠–٣,٠٠
مشكوك فى صلاحيتها	١,٠٠–١,٢٥	٢,٠٠–٢,٥٠	٣,٠٠–٣,٧٥
غير صالحة	< ١,٢٥	< ٢,٥٠	< ٣,٧٥

وتقسم الخضراوات – فى الزراعات الحقلية – حسب تحملها للبورون فى مياه الرى إلى الأقسام التالية:

١- خضراوات حساسة للتركيزات المنخفضة التى تصل إلى ٠,٥- ١,٠ جزءًا فى المليون من البورون، وتشمل: الفاصوليا – الطرطوفة.

٢- خضراوات متوسطة التحمل، ويمكنها النمو فى تركيزات تصل إلى ١- ٢ جزء فى المليون من البورون؛ وتشمل: فاصوليا الليما – البطاطا – الفلفل – الطماطم – القرع العسلى – الذرة السكرية- البسلة – الفجل – البطاطس- الكرفس.

٣- خضراوات قادرة على تحمل تركيزات مرتفعة من البورون تصل إلى ٢- ١٠ أجزاء فى المليون؛ وتشمل: الجزر – الخس – الكرنب – اللفت – البصل- الفول الرومى – القاوون – البنجر- الأسبرجس.

ومن المحاصيل الأخرى الشديدة التحمل للبورون فى مياه الرى: النخيل، وبنجر السكر، والبرسيم الحجازى.

وقد رتبت خضراوات كل مجموعة تصاعديًا حسب مقدرتها على تحمل البورون (Thorne & Peterson ١٩٥٤، وAllison ١٩٦٤).

أما تحت ظروف المزارع الرملية.. فإن معظم النباتات تنمو جيدًا فى تركيز يتراوح بين ٠,٣ و ٠,٤ جزءًا من المليون، بينما تظهر أضرار البورون بوضوح عند زيادة تركيزه على جزء واحد فى المليون (عن U.S. Dept. Agr. ١٩٥٤).

وتشاهد أضرار زيادة البورون – عادة – على صورة تحلل فى قمة الأوراق وحوافها، يتبعه ظهور انسفاع أو احتراق scorching فى مختلف أنسجة الورقة (عن Branson ١٩٨٣).

هذا.. ومع مرور الوقت تسبب المياه – المحتوية على أكثر من جزأين فى المليون من البورون – مشاكل مع معظم المحاصيل الزراعية.

الحد الأقصى المأمون للعناصر الدقيقة (الصغرى) والعناصر غير الضرورية للنبات فى مياه الرى

تتحدد نوعية مياه الرى بمقدار ما تحتويه من العناصر الدقيقة والعناصر غير الضرورية للنبات، لأن وجود هذه العناصر – حتى بتركيزات منخفضة – قد يكون سامًا للنباتات. ويوضح جدول (١١-٢) الحد الأقصى المأمون لتلك العناصر فى ماء الرى.

جدول (١١-٢): الحد الأقصى المسموح به من العناصر الدقيقة والعناصر غير الضرورية للنبات فى مياه الرى.

العنصر	للاستعمال باستمرار فى جميع أنواع الأراضى (بالجزء بالمليون)	للاستعمال لمدة ٢٠ عامًا فى الأراضى الخفيفة ذات pH من ٦–٨,٥ (بالجزء بالمليون)
الألومنيوم	٥,٠	٢٠,٠
الزرنيخ	٠,١٠	٢,٠
البرلليم	٠,١٠	٠,٥
البورون	٠,٧٥	٢,٠– ١٠,٠
الكادميوم	٠,٠١	٠,٠٥
الكروم	٠,١٠	١,٠
الكوبالت	٠,٠٥	٥,٠
النحاس	٠,٢	٥,٠
الفلور	١,٠	١٥,٠
الحديد	٥,٠	٢٠,٠
الرصاص	٥,٠	١٠,٠
الليثيم	٢,٥	٢,٥
المنجنيز	٠,٢	١٠,٠
الموليبدنم	٠,٠١	٠,٠٥
النيكل	٠,٢	٢,٠
السيلينيوم	٠,٠٢	٠,٠٢
الفاناديوم	٠,١	١,٠
الزنك	٢,٠	١٠,٠

وإذا احتوى ماء الرى على تركيز عالٍ من الحديد الذائب فإنه يمكن التخلص منه بالأكسدة والترسيب، وذلك بترك الماء فى حوض واسع ليحدُث أكبر قدر من تماس الماء مع الهواء، ثم يُسمح للماء بالسقوط التدريجى من ارتفاع عدة أمتار لزيادة ذوبان الهواء فيه؛ مما يؤدى إلى تأكسد الحديدوز الذائب إلى حديديك، وهو الذى يترسب بدوره، ويمكن التخلص منه. وتحتاج هذه العملية إلى نحو ١٢–٢٤ ساعة لاستكمالها.

ومقارنة بالعناصر الدقيقة.. فإن الحدود القصوى المسموح بها من بعض العناصر الكبرى فى مياه الرى تزيد كثيرًا عما سبق، ولكنها تختلف من عنصر لآخر، كما يلى (عن حبيب وآخرين ١٩٩٣).

الأيون	الحد الأقصى المناسب له والأضرار التى تترتب على زيادة التركيز
الكالسيوم	٦ مللى مكافئ/لتر (١٢٠ جزءًا فى المليون)، تؤدى زيادته عن ذلك إلى ترسيب أيون الفوسفات إذا حُقِنا معًا فى مياه الرى
المغنيسيوم	٣ مللى مكافئ/لتر
الكبريتات	تتحمل معظم النباتات غير الحساسة للكبريت تركيزات تصل إلى ١٠ مللى مكافئ/لتر (٤٨٠ جزءًا فى المليون)، ولكن النباتات الحساسة لا تتحمل تركيزات تزيد على مللى مكافئ واحد فى اللتر.

أما البيكربونات فإن حدها الأقصى المسموح به ٦ مللى مكافئ/لتر، وتؤدى زيادتها على ذلك إلى حدوث بعض الترسبات فى مواسير الرى؛ حيث إنها – وكذلك الكربونات – ترسب الكالسيوم والمغنيسيوم فى صورة ملح كربونات العنصر؛ كما يؤدى ذلك – تلقائيًا – إلى زيادة النسبة المئوية للصوديوم المتبادل.

كيفية الحكم على مدى صلاحية المياه للرى

يمكن الاستدلال على مدى صلاحية المياه للرى من نتائج تحاليلها المختلفة كما فى جدول (١١–٣) (عن Ayers & Westcot ١٩٨٥).

تجدر الإشارة إلى أن نسبة الصوديوم المتبادل – على سطح غرويات التربة Estimated Equilibrium Exchangeable-Sodium-Percentage (اختصارًا ESP)–

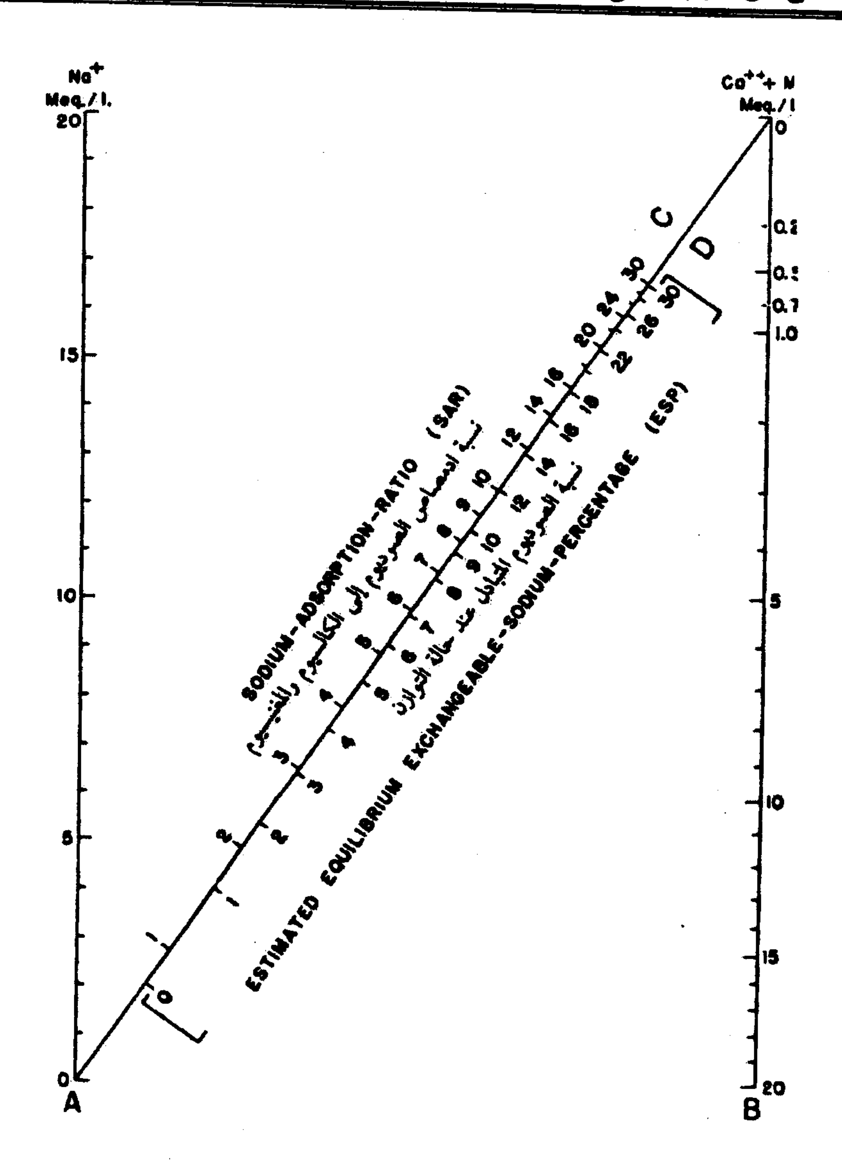
المقدرة عند الوصول إلى حالة توازن – تتوافق – إلى حد كبير – مع نسبة ادمصاص الصوديوم Sodium Adsorption Ratio إلى الكاتيونات الأخرى (الكالسيوم والمغنيسيوم)، التى تحسب – بالنسبة لماء الرى – من المعادلة التالية:

$$SAR = Na^{+} / \sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})/2}$$

حيث تمثل Na^{+}، وCa^{++}، وMg^{++} تركيز هذه الأيونات – فى ماء الرى – بالمللى مكافئ/لتر. وتبدو هذه العلاقة واضحة من شكل (١١–١).

جدول (١١–٣): الاستدلال على مدى صلاحية المياه للرى من نتائج تحاليلها.

نوع المشكلة[أ]	مدى المشكلة		
	لا توجد	متزايدة	شديدة
الملوحة:			
EC_w (مللى موز/سم) أو	أقل من ٠,٧٥	٠,٧٥– ٣,٠	أكثر من ٣,٠
TDS (مجم/لتر أو جزء فى المليون)	أقل من ٤٨٠	٤٨٠– ١٩٢٠	أكثر من ١٩٢٠
سمية أيونات معينة لمحاصيل حساسة:			
(عند الرى السطحى):			
الكلوريد (مللى مكافئ/لتر)	أقل من ٢	٢–١٠	أكثر من ١٠
(مجم/لتر)	أقل من ٧٠	٧٠– ٣٤٥	أكثر من ٣٤٥
البورون (مجم/لتر)	١,٠	١,٠– ٢,٠	٢,٠– ١٠,٠
الصوديوم (مقدرًا بالـ SAR)	SAR أقل من ٣,٠	٣,٠– ٩,٠	أكثر من ٩,٠
(عند الرى بالرش):			
الصوديوم (مللى مكافئ/لتر)	أقل من ٣,٠	أكثر من ٣,٠.	–
(مجم/لتر)	أقل من ٧٠	٧٠	–
الكلوريد (مللى مكافئ/لتر)	أقل من ٣,٠	أكثر من ٣,٠	–
(مجم/لتر)	أقل من ١٠٠	١٠٠	–
متنوعات:			
البيكربونات (مللى مكافئ/لتر)	أقل من ١,٥	١,٥– ٨,٥	أكثر من ٨,٥
(مجم لتر)	أقل من ٤٠	٤٠– ٥٢٠	أكثر من ٥٢٠
pH	المدى الطبيعى:	٦,٥– ٨,٤	



شكل(١١-١): كيفية تحديد قيمة SAR لماء الرى، وتقدير قيمة ESP المقابلة فى التربة التى تكون فى حالة توازن مع الماء المستخدم فى الرى.

(أ) EC_w: درجة التوصيل الكهربائى Elelectrical Conductivity لماء الرى مقدرة بالديسى سيمنز لكل متر decisimens/meter (dS/m)، أو بالمللى موز لكل سنتيمتر (mmohs/cm) عند ٢٥°م.

TDS: المواد الصلبة الكلية الذائبة Total Dissolved Salts.

SAR: نسبة ادمصاص الصوديوم Sodium Adsorption Ratio. إلى الكاتيونات الأخرى (الكالسيوم والمغنيسيوم)، وهى تحسب – بالنسبة لماء الرى بالمعادلة التالية:

$$SAR = Na^+ / \sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++})/2}$$

حيث تمثل Na^+، وCa^{++}، وMg^{++} تركيز هذه الأيونات بالمللى مكافئ/لتر.

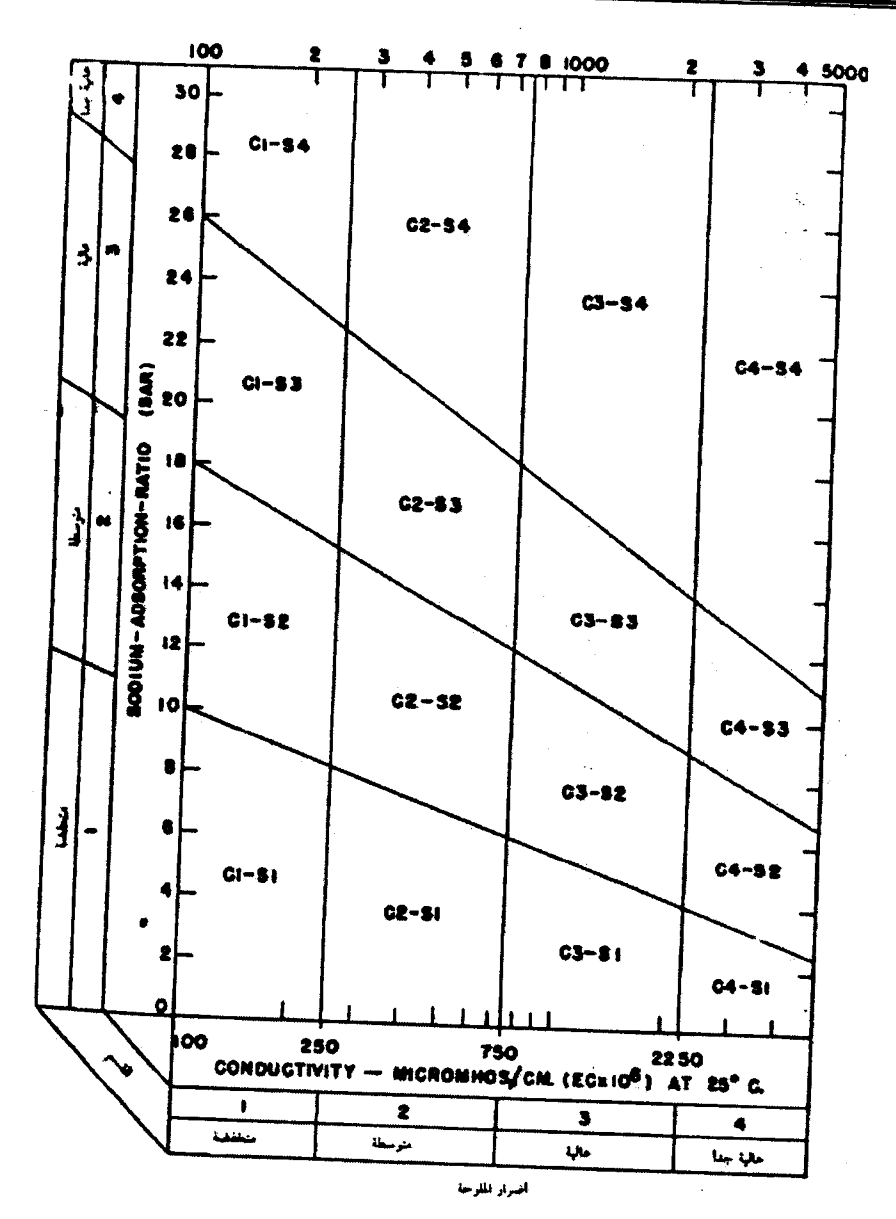
وقد قدرت قيم ESP المبينة فى الشكل من المعادلة التالية:

$$ESP = \frac{100\ (-\ 0.0126 + 0.01475\ SAR)}{1 + (-\ 0.0126 + 0.01475\ SAR)}$$

هذا.. إلا أن قيم SAR المقدرة تكون عادة أقل قليلاً من القيم الفعلية المتحصل عليها تحت ظروف الحقل؛ لأن محاليل التربة تكون غالبًا أعلى تركيزًا من تركيز الأملاح فى مياه الرى.

ويفضل دائمًا أخذ كل من قيمتى SAR، وEC_w – لماء الرى – فى الحسبان عند تقرير مدى صلاحية استخدام تلك المياه فى الرى. وتبعًا لذلك.. فإن مياه الرى تقسم – حسب نوعيتها – إلى ١٦ قسمًا تبعًا لمدى انخفاض أو ارتفاع قيمتى SAR، وEC_w كما هو مبين فى شكل (١١–٢).

تأخذ SAR – فى شكل (١١–٢) – الرمز S، بينما تأخذ EC الرى C. وتزداد المشاكل المتوقعة من استعمال المياه فى الرى مع زيادة الرقم المصاحب لكل من الـ C، أو الـ S، أو كليهما. أما العلاقات الخطية – بين S، و C – المبينة فى الشكل فقد تحددت من المعادلات الآتية:



شكل (١١-٢): تقسيم نوعيات مياه الرى تبعًا لمدى انخفاض أو ارتفاع كل من قيمتى SAR، وEC_w.

المنحنى	المعادلة
العلوى	$S = 43.75 - 8.87 (\log C)$
الأوسط	$S = 31.31 - 6.66 (\log C)$
السفلى	$S = 18.87 - 4.44 (\log C)$

حيث إن: EC = C، و SAR = S، و log = اللوغاريتم للأساس ١٠ (عن U.S. Dept. Agr. ١٩٥٤).

الفصل الثانى عشر

شد الملوحة

تقسم الأراضى – كما أسلفنا – من حيث كونها ملحية أو صودية – تبعًا لمعمل الملوحة بالولايات المتحدة – كما يلى:

١- أراضى غير ملحية وغير صودية:

وفيها لا يزيد معامل التوصيل الكهربائى (EC) لمستخلص التربة المشبع عن ٤,٠ مللى موز/سم، ولا تزيد نسبة الصوديوم المتبادل (ESP) عن ١٥٪.

٢- أراضى ملحية:

وفيها يزيد الـ EC عن ٤,٠ مللى موز/سم، ولا يزيد الـ ESP عن ١٥٪.

٣- أراضى صودية:

وفيها لا يزيد الـ EC عن ٤,٠ مللى موز/سم، ويزيد الـ ESP عن ١٥٪.

٤- أراضى ملحية صودية:

وفيها يزيد الـ EC عن ٤,٠ مللى موز/سم، ويزيد الـ ESP عن ١٥٪.

يكون pH الأراضى الملحية – عمومًا – أقل من ٨,٥، وpH الأراضى الملحية الصودية حوالى ٨,٥، وpH الأراضى الصودية أعلى من ٨,٥ (عن Singh & Chatrath ٢٠٠١).

وتعرف الأراضى غير الصالحة للزراعة باسم "الأراضى ذات المشاكل" Problem Soils، وهى الأراضى التى يوجد فيها انحراف حاد – عن المجال المناسب للنمو النباتى الطبيعى – فى واحد أو أكثر من العوامل البيئية الأرضية، مثل: الملوحة الأرضية، والرطوبة الأرضية، والعناصر الغذائية، والـ pH.

وتوجد ثلاثة بدائل للاستفادة من تلك الأراضى ذات المشاكل، وهى:

١- إصلاح التربة.. وهى طريقة تتبع بنجاح عندما يكون الانحراف فى العامل البيئى قليلاً، ولكنها لا تكون اقتصادية إذا كان الانحراف كبيرًا.

٢- استخدام التربة ذات المشاكل فى زراعة أنواع برية من النباتات يمكنها النمو فيها، على أن يتم استئناسها لصالح الإنسان بهدف استخلاص مركبات غذائية، أو دوائية منها، أو الاستفادة منها مباشرة كغذاء للإنسان، أو كعلف للماشية، أو لإنتاج الزيوت أو المركبات الأخرى التى تدخل فى الصناعة.. ويحظى هذا الاتجاه باهتمام كبير فى الوقت الحاضر، وهو يهم فى مجال تربية النبات لأن استئناس النباتات Plant Domestication لصالح الإنسان يعد أحد أهداف التربية.

٣- تربية نباتات تتحمل الانحراف فى العوامل البيئية الأرضية، ليمكن زراعتها بنجاح فى هذه الأراضى.

ويُطلق على استخدام النباتات المحبة للملوحة والأصناف المتحملة للملوحة من المحاصيل الزراعية فى زراعة الأراضى المتأثرة بالملوحة باسم الـ biotic approach، وكذلك باسم biosaline agriculture (Ashraf & Akram ٢٠٠٩).

هذا.. ويُعبر عن الملوحة إما بالـ TDS وإما بالـ EC.

والـ TDS هى كمية الأملاح الذائبة الكلية total dissolved salts، وتُقاس إما بالـ mg/l (مجم/لتر)، وإما بالـ ppm (الأجزاء فى المليون).

أما الـ EC فهى درجة التوصيل الكهربائى electrical conductivity، وتُقاس إما بالـ dS/m (الديسى سيمنز/م)، وإما الـ mmho/cm (مللى موز/سم)، وإما بالـ umho/cm (ميكروموز/سم)، وذلك على ٢٥°م.

علمًا بأن:

واحد dS/m = واحد mmho/cm = ١٠٠٠ umho/cm.

واحد mg/l = واحد جزء فى المليون.

واحد EC عند ٢٥°م = ٦٤٢ جزء فى المليون.

أضرار الملوحة العالية

تظهر الآثار السلبية للملوحة العالية فى ثلاثة جوانب كما يلى:

١- بناء التربة Soil Structure:

تؤثر التركيزات العالية للأملاح - وخاصة عند زيادة نسبة ادمصاص الصوديوم إلى الكاتيونات الأخرى على سطح غرويات الطين - تأثيرًا سيئًا على الصفات الفيزيائية للتربة، حيث تتشتت الحبيبات الصغيرة (المكونة للتجمعات الكبيرة)، وتصبح مفردة؛ الأمر الذى يقلل كثيرًا من حجم مسام التربة، ويضعف نفاذيتها للماء.

٢- التفاعل بين التربة والجذور Soil/Root Interactions:

تجعل التركيزات العالية للأملاح فى المحلول الأرضى امتصاص النبات للماء والعناصر أمرًا صعبًا؛ بسبب زيادة الضغط الأسموزى للمحلول الأرضى، والتنافس الكيميائى بين أيونات الأملاح وأيونات العناصر المغذية على الامتصاص؛ مما يؤدى إلى ظهور أعراض نقص بعض العناصر.

٣- داخل النبات:

تؤدى زيادة امتصاص النبات للأملاح إلى تواجدها بتركيزات عالية فى أنسجة النبات بصورة عامة، وفى السيتوبلازم، والفجوات العصارية بصورة خاصة؛ الأمر الذى يترتب عليه ما يلى:

أ- تثبيط النشاط الأيضى، بالرغم من أن زيادة الملوحة تؤدى إلى زيادة المحتوى الكلوروفيللى للنبات.

ب- التضارب مع تمثيل البروتين.

ج- فقدان الخلايا للماء.

د- انغلاق الثغور؛ بسبب زيادة تركيز حامض الأبسيسك فى الملوحة العالية.

هـ- شيخوخة الأوراق مبكرًا.

ويؤدى عدم التوازن بين تركيز الأملاح فى كل من السيتوبلازم والفجوات العصارية إلى زيادة التأثير الضار للأملاح الزائدة؛ فتصبح سامة للنبات، بالرغم من أن تركيزها العام فى النسيج النباتى قد يكون معتدلاً (عن Yeo & Flowers ١٩٨٩، وXu وآخرين ١٩٩٤).

وتحدث الآثار السلبية التى أسلفنا بيانها بفعل عاملين تتسبب فيهما الملوحة، كما يلى:

١- نجد فى الأراضى العادية أن الكالسيوم والمغنيسيوم يكُونان أكثر الكاتيونات تواجدًا، أما عند زيادة تركيز كلوريد الصوديوم فإن كبريتات الكالسيوم وكربونات الكالسيوم، وكبريتات المغنيسيوم تترسب؛ لأن مقدرتها على الذوبان محدودة، ويؤدى ذلك بالتالى إلى زيادة نسبة أيونات الصوديوم فى المحلول الأرضى.

ونظرًا لوجود توازن ديناميكى بين الأيونات الذائبة فى المحلول الأرضى والأيونات المدمصة على سطح حبيبات التربة، فإن أيونات الصوديوم تحل محل بعض أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم على سطح حبيبات التربة. وفى بعض الأراضى الملحية — التى تزيد فيها نسبة تركيز أيون الصوديوم على نصف الكاتيونات الذائبة الكلية — يكون أيون الصوديوم هو الكاتيون الوحيد تقريبًا فى المحلول الأرضى؛ ومن ثم يكون هو الكاتيون الأساسى المدمص على غرويات التربة (Allison ١٩٦٤).

ويترتب على ذلك ما يلى:

أ- فقر التربة فى الكاتيونات المدمصة، وعدم قدرة النباتات على الحصول على حاجتها منها.

ب- امتصاص النباتات لكميات كبيرة سامة من أيونى الصوديوم والكلور.

ج- ضعف بناء التربة؛ بسبب ترسب الكالسيوم وسيادة أيون الصوديوم فى المحلول الأرضى على سطح غرويات التربة.

٢- بالنظر إلى أن الأملاح التى توجد فى التربة تزيد الضغط الأسموزى للمحلول الأراضى، وتجعل الماء الأرضى أقل تيسرًا للنباتات؛ لذا.. تقل قدرة النباتات على امتصاص الماء، وتكون استجابتها لزيادة الأملاح مماثلة تقريبًا لاستجابتها لظروف الجفاف، ولكن مع وجود بعض الاختلافات.

فمثلاً.. نجد فى كلتا الحالتين أن تركيز حامض الأبسيسك يزداد؛ مما يؤدى إلى إغلاق الثغور، وأن مستوى السيتوكينين ينخفض. ويبقى مستوى حامض الأبسيسك مرتفعًا لفترة أطول تحت ظروف الملوحة العالية منه تحت ظروف الجفاف. حتى عندما تستعيد النباتات توازنها المائى (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧).

مظاهر أضرار الملوحة على محاصيل الخضر

تتباين أضرار الملوحة على النباتات — حسب تركيز الأملاح فى التربة ومياه الرى — كما يلى:

١- فى التركيزات الشديدة الارتفاع تموت النباتات بسبب سمية التركيزات العالية للأيونات المكونة للأملاح، مع حدوث ارتفاع كبير فى الضغط الأسموزى للمحلول الأرضى؛ فتفشل البذور فى الإنبات، ولا يمكن للجذور امتصاص حاجة النباتات من الماء، وخاصة عند ارتفاع معدل النتح.

٢- فى التركيزات المتوسطة إلى العالية من الأملاح قد تحترق الأوراق ويتوقف النمو، وهو ضرر مباشر تحدثه التركيزات المرتفعة لأيونى الصوديوم والكلور.

٣- فى التركيزات الخفيفة إلى المتوسطة من الأملاح تنخفض سرعة النمو النباتى، كما يزداد سمك الأوراق، وتزداد دكنة لونها الأخضر فى بعض الأنواع النباتية.

٤- عند استخدام المياه المرتفعة الملوحة فى الرى بالرش فإن الأوراق تمتص الأملاح، مما يؤدى إلى احتراقها. ويتوقف مدى الضرر على درجة الحرارة (التى تؤثر فى سرعة تبخر الماء وزيادة تركيز الأملاح)، ومعدل امتصاص الأوراق للماء.

٥- إلى جانب الأضرار الفسيولوجية المباشرة التى تقدم بيانها.. فإن زيادة تركيز الأملاح يمكن أن تؤدى — كذلك- إلى زيادة الإصابة ببعض الأمراض؛ مثل مرض عفن جذور فيتوفثورا فى الطماطم الذى يسببه الفطر *Phtophthora parasitica* (Swiecki & MacDonald ١٩٩١).

ويُعد نقص المحصول أبرز مظاهر زيادة الملوحة.

نقص المحصول

بالرغم من تأثر الأنواع النباتية — سلبيًّا — بارتفاع تركيز الأملاح فى مياه الرى إلا أنها تتباين فى مدى هذا التأثير. ويقدر مدى تأثر المحصول بتركيز الأملاح بالمعادلة التالية:

$$Y = 100 - B (EC_e - A)$$

حيث إن:

Y = المحصول النسبى.

B = معدل النقص فى المحصول مع كل زيادة فى وحدة قياس الملوحة.

A = الحد الأدنى للملوحة الذى ينخفض بعده المحصول.

EC_e = درجة التوصيل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع مقدرًا بالمللى موز/سم عند ٢٥°م (عن Ponnamperuma ١٩٨٢).

وتجدر الإشارة إلى أن العلاقة بين تركيز الأملاح والمحصول تكون غالبًا غير خطية؛ حيث تتبع منحنى "سيجمويد" معكوسًا تظهر به زيادة صغيرة — ولكنها معنوية — فى المحصول فى تركيزات الملوحة المنخفضة (عن Shannon ١٩٨٥).

كما توصل Genuchten & Gupta (١٩٩٣) إلى معادلة أخرى تصف العلاقة "السيجمويد" بين تركيز الأملاح والمحصول، كما يلى:

$$Y = 1 (1 + (c/c_{50})^3)$$

حيث إن:

Y: المحصول النسبى.

c: متوسط تركيز الأملاح فى منطقة نمو الجذور.

c_{50}: متوسط تركيز الأملاح – فى منطقة نمو الجذور – الذى يحدث عنده نقص قدره ٥٠٪ فى المحصول.

وتجدر الإشارة إلى أن كثيرًا من المحاصيل يمكنها تحمل مستويات عالية من الملوحة إذا كان المحلول الأرضى متوازنًا فى مستواه من الأملاح، كما فى مياه البحر (عن Ponnamperuma ١٩٨٢).

الأساس الفسيولوجى لأضرار الملوحة

تحدث أضرار الملوحة نتيجة لما تحدثه بالنباتات من أضرار فسيولوجية كما يلى:

١- تفرض الملوحة نقصًا مبدئيًّا فى قدرة النبات على امتصاص الماء، بسبب ما تُحدثه الملوحة من زيادة فى تركيز الأملاح فى المحلول الأرضى.

٢- تسبب الملوحة شدًّا أيونيًّا خاصًّا ينشأ عن التغيير فى نسبة أيون البوتاسيوم K^+ إلى الصوديوم Na^+.

٣- يؤدى الشدّ الملحى إلى زيادة تركيز أيونات الصوديوم Na^+ والكلورين Cl^- إلى مستويات ضارة بالنباتات.

ونجد أن النباتات الحساسة للملوحة تنتقل فيها الأيونات إلى النموات الخضرية

(مع تيار ماء النتح غالبًا) بسرعة أكثر من سرعة انتقالها فى النباتات المتحملة والمحبة للملوحة (التى يقل فيها النتح بسبب صغر حجم أوراقها، أو لتشحم نمواتها الخضرية، أو لغزارة شعيراتها الغدية؛ الأمر الذى يعمل على خفض معدل النتح)؛ مما يُسرع من موت أوراقها، ومن ثم موت النبات كله (Flowers & Flowers ٢٠٠٥).

إن التأثير الفسيولوجى لزيادة الملوحة يرجع – كما أسلفنا – إلى أمرين أساسيين، هما: زيادة الضغط الأسموزى للمحلول الأرضى، وما يتبع ذلك من عدم قدرة النبات على امتصاص حاجته من الماء، والزيادة الكبيرة فى تركيز كلوريد الصوديوم، وما يتبع ذلك من عدم قدرة النبات على امتصاص حاجته من الكاتيونات الأخرى.

تحور التأثيرات الأسموزية للمحلول الأرضى من العلاقات المائية بالنبات، وتقلل من معدل زيادة الخلايا فى الحجم؛ الأمر الذى يقود إلى خفض فى معدل تكون الجذور والفروع والأوراق الجديدة. يخفض الضغط العالى للمحلول الأرضى – كذلك – من درجة توصيل الثغور؛ الأمر الذى يؤدى إلى خفض معدل البناء الضوئى. كما تتسبب التأثيرات الأسموزية فى زيادة سرعة وصول الأوراق المسنة لمرحلة الشيخوخة. ويعنى ذلك وجود ثلاث عمليات مستقلة تتأثر بزيادة الضغط الأسموزى (بطء تكوين الأوراق الجديدة، وموت الأوراق المسنة، ونشاط البناء الضوئى)، وهى التى تُسهم جميعها فى خفض معدل البناء الضوئى للنبات. وتتشابه هذه التأثيرات مع تأثيرات شدِّ الجفاف. تحدث التأثيرات الأسموزية فور انخفاض الجهد المائى للمحلول الأرضى، وتزول فور زيادته. وإذا كانت فترة الشدِّ قصيرة (بالساعات) فإن عودة النبات لحالته الطبيعية تكون كاملة، أما إذا كانت تلك الفترة طويلة، فإن العودة للحالة الطبيعية تكون محدودة نظرًا لأن الشدِّ ربما يكون قد قلل – بالفعل – من عدد النموات الجانبية وعدد الخلايا فى منطقة الانقسام والنمو بالجذور والأوراق، حيث يكون هناك انخفاض فعلى فى عدد الخلايا القادرة على الاستجابة.

أما التأثير على امتصاص الأيونات فإن مرده يكون إلى زيادة امتصاص أيونا الصوديوم والكلورين، وما يتبع ذلك من نقص فى امتصاص الأيونات الضرورية، وخاصة البوتاسيوم والكالسيوم. وقد يحور امتصاص الكلورين الزائد من امتصاص الأيونات الضرورية للنبات مثل الفوسفات والنترات، إلا أن هذه التأثيرات تكون معقدة وتتباين بين الأنواع النباتية. وإذا زاد امتصاص النبات للصوديوم والكلورين عن قدرة النبات على توزيعهما على مختلف الأنسجة والأعضاء، أو على قدرته على تحديد تواجدهما بالفجوات العصارية، فإن تركيزهما يزداد فى السيتوبلازم إلى مستويات سامة. ومن أبرز مظاهر ذلك التسمم موت الأوراق المسنة، أما تأثير التراكم على النمو فإنه لا يحدث إلا بعد فترة تتوقف على مستوى الشدّ الملحى وعلى مدى تحمل النوع النباتى لها. وعندما يحدث البطء فى النمو جراء تراكم أيونا الصوديوم والكلورين فإنه يكون البطء الثانى بعد الأول الذى يحدث مبكرًا جراء زيادة الضغط الأسموزى للمحلول الأرضى (عن Munns وآخرين ٢٠١١).

التأثيرات المفيدة للملوحة على محاصيل الخضر

لا تخلو زيادة الملوحة من بعض التأثيرات المفيدة التى يمكن أن تجد لها تطبيقات زراعية، كما يلى:

١- تؤدى زيادة الملوحة إلى الحد من النمو الخضرى فى الطماطم؛ الأمر الذى يمكن الاستفادة منه فى زيادة العقد المبكر، وخاصة فى ظروف الإضاءة الضعيفة. كذلك فإن زيادة الملوحة فى الوقت المناسب (فى المزارع المائية) تفيد فى الحد من النمو الخضرى فى الفراولة؛ الأمر الذى يؤدى إلى اتجاه النبات نحو النمو الثمرى.

٢- تؤدى الملوحة العالية — أحيانًا — إلى جعل الثمار المنتجة أفضل مظهرًا وأكثر مقاومة للأضرار الميكانيكية (عن Awang وآخرين ١٩٩٣).

٣- تعمل الملوحة على زيادة قدرة النباتات العشبية على تحمل الحرارة المنخفضة؛ فقد أدى تعريض جذور السبانخ لمحلول ملحى يبلغ تركيزه ٣٠٠ مللى مولار من كلوريد

الصوديوم إلى زيادة قدرة الأوراق على تحمل التجمد بمقدار ٢,٣°م فى خلال ٢٤ ساعة من المعاملة، علمًا بأن امتصاص الملح كان سريعًا خلال السبع ساعات الأولى من معاملة الملوحة، ثم انخفض بعد ذلك (Hincha ١٩٩٤).

٤- من المعروف أن زيادة الملوحة تؤدى إلى زيادة نسبة المادة الجافة وتحسين النوعية؛ بزيادة محتوى الثمار من السكريات والحموضة المعايرة؛ كما فى الطماطم، والفلفل، والفراولة.

فمثلاً.. أوضحت دراسات Mizrahi & Pasternak (١٩٨٥) أن ثمار طماطم التصنيع التى عرضت لعدة مستويات من الملوحة كان محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية والحموضة المعايرة أكثر مما فى نباتات الشاهد. وبالرغم من أن محصول معاملة الملوحة كان أقل، إلا أن التحسن فى نوعيتها رفع من قيمتها.

كذلك حصلت ثمار الكنتالوب التى تعرضت لمستويات من الملوحة على قيم أعلى فى اختبارات التذوق منها فى ثمار معاملة الشاهد، ولكن اختفى الفرق بينهما بعد ٣ -٤ أسابيع من التخزين فى حرارة الغرفة.

أما الخس.. فلم تكن لمعاملة الملوحة أية تأثيرات على نتائج اختبارات التذوق فيه.

وفى الكرنب الصينى كان لمعاملة الملوحة تأثير قليل على المحصول، ولكنها أحدثت زيادة فى معدل الإصابة باحتراق حواف الأوراق.

٥- من المعروف أن ثمار النباتات الأصيلة فى طفرة الطماطم nor لا تتلون بصورة عادية ولا تفقد صلابتها؛ حيث يمكن تخزينها لفترات طويلة، ولكنها تكون رديئة النوعية لعدم اكتمال نضجها بصورة طبيعية؛ حيث يكون تطورها مقيدًا بشدة على المستويات الفسيولوجية والإنزيمية، وحتى على مستوى التعبير الجينى. هذا.. إلا أن الملوحة يمكن أن تخفف من التأثيرات المتعددة لهذا الجين؛ حيث إن تعريض النباتات للأملاح — فى نهاية مرحلة تطورها — أدى إلى احمرار الثمار ونضجها جزئيًا. وقد

صاحب ذلك نقص فى وزن الثمار وصلابتها، مع زيادة فى محتواها من المادة الجافة، والحموضة المعايرة، والسكر، وأيون الكالسيوم. ولكن لم يكن للملوحة تأثير على نشاط إنزيم بولى جلالاكتورونيز polygalacturonase، الذى يختفى تمامًا فى الثمار الأصيلة فى هذا الجين، والذى يعد مسئولاً عن فقد ثمار الطماطم الطبيعية لصلابتها.

ولقد اقترح البعض إمكان تبادل رى الحقل الواحد بماء ردئ النوعية مع ماء آخر جيد النوعية، وخاصة خلال مراحل النمو الأكثر تحملاً والأكثر حساسية للملوحة، على التوالى. ولقد وجد أن الرى بالماء الملحى أثناء إثمار الكنتالوب والطماطم أدى إلى زيادة محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة وتحسين طعمها. ويفيد تبادل الرى بالماء العذب مع الماء الملحى فى تحقيق هذا الهدف دون التأثير سلبًا على المحصول. وكان لزيادة ملوحة مياه الرى أثره فى زيادة المواد الصلبة الذائبة الكلية فى ثمار الكنتالوب بمقدار ٢٪. وفى مهاميز الأسبرجس ازدادت نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية من ٩٥ إلى ١٠٨ مجم/جم وزن طازج عندما اقتربت ملوحة التربة من ٢١ ديسى سيمنز/م.

وعلى الرغم من اختلاف الأنواع النباتية فى تحملها للملوحة، فإن محصول جميع أنواع الخضر تحسّن عند تأخر الرى بمياه الصرف عالية الملوحة إلى المراحل المتأخرة من النمو المحصولى. وقد تميزت الخضر الورقية التى أُعطيت تلك المعاملة بأن أوراقها أصبحت أكثر اخضرارًا، وعندما كان ماء الرى غنيًّا بالكبريتات حدث تحسّن فى طعم أوراق الخضر الصليبية (Shannon & Grieve ٢٠٠٠).

ومن المعروف إمكان استخدام الماء المالح قليلاً brackish water فى رى نباتات الكنتالوب بالتبادل مع الماء العذب أو مخلوطًا معه، دون توقع حدوث نقص كبير فى المحصول، وذلك إذا ما روعى التوقيت والتركيز المناسبين، فى الوقت الذى يمكن توقع حدوث تحسُّن فى صفات جودة الثمار فيما يتعلق بنسبة السكريات والمواد الصلبة الذائبة الكلية (Del Amor وآخرون ١٩٩٩).

تأثير الشد الملحى على بعض محاصيل الخضر

الطماطم

لا تتحمل الطماطم التركيزات المرتفعة من الملوحة الأرضية، حيث تؤدى زيادتها إلى إحداث نقص كبير فى معدل النمو النباتى يزداد بزيادة تركيز الأملاح (Hassan & Desouki ١٩٨٢)، ويصاحب ذلك نقص كبير فى المحصول. ويمكن لنباتات الطماطم تحمل ملوحة تصل إلى ٢٠٠٠ – ٢٥٠٠ جزء فى المليون (درجة توصيل كهربائى EC تتراوح بين ٣,١ و٣,٩ مللى موز) دون أن يتأثر نموها بدرجة ملحوظة. وعلى الرغم من قدرة النباتات على النمو فى مستويات الملوحة الأعلى من ذلك – وحتى ٦٤٠٠ جزء فى المليون (EC = ١٠ مللى موز) – إلا أن نموها ومحصولها يتأثران سلبيًا بكل ارتفاع فى مستوى الملوحة (Lorenz & Maynard ١٩٨٠)، ولا يكون إنتاجها اقتصاديًّا فى مستويات الملوحة الأعلى من ذلك.

ويمكن القول – بصفة عامة – أن أصناف الطماطم الكريزية الثمار (الـ cerasiforme) أكثر تحملاً للملوحة عن غالبية الأصناف العادية، حيث إنها تتحمل مستويات أعلى من الملوحة الأرضية قبل أن يبدأ محصولها فى الانخفاض (Caro وآخرون ١٩٩١).

إنبات البذور

تقلل الملوحة العالية من إنبات بذور الطماطم وتزيد من الفترة التى تلزم لإنباتها إلى درجة تجعل الزراعة بالبذور مباشرة فى الحقل الدائم غير مناسبة على الإطلاق عندما تصل ملوحة مستخلص التربة المشبع إلى ٨ ديسى سيمنز/م (EC = 8 dS/m).

إن الملوحة العالية تؤثر سلبيًا على إنبات بذور الطماطم؛ حيث تؤدى إلى جانب تأخير الإنبات. إلى نقص كل من معدل الإنبات، ونسبة الإنبات النهائية، ومعدل استطالة البادرة. وقد توصل Badia & Meiri (١٩٩٤) من دراستهما عن تأثير مستويات مختلفة

من الملوحة الأرضية (تراوحت فيها درجة التوصل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع بين ١,٣ ، و٧,٧ مللى موز/ سم) على إنبات بذور صنفى الطماطم إم ٨٢ M82، وبيتو ٩١ Peto 91 أن أعلى مستويات الملوحة أدى إلى انخفاض نسبة الإنبات النهائية إلى ٦٧٪ فى الصنف إم ٨٢، و ٨٨٪ فى الصنف بيتو ٩١، بينما ازدادت فترة الإنبات بمقدار ٢٠٨٪، و١٨٠٪ فى الصنفين، على التوالى.

هذا إلا أن تعريض بذور الطماطم أثناء استنباتها لملوحة عالية يُحدث تغيرات فسيولوجية فى أجنة البذور تجعل البادرات والنباتات الناتجة منها أسرع تأقلمًا على ظروف الملوحة العالية بعد ذلك. ويحدث نفس التأثير — ولكن بدرجة أقل — عند تعريض البادرات التى فى مرحلة ظهور الورقة الحقيقية الرابعة لمعاملة الملوحة العالية. وقد وجد Cano وآخرون (١٩٩١) أن تشريب بذور الطماطم بالماء فى ملوحة عالية (٠,١ مولار كلوريد صوديوم) أدى إلى زيادة المحصول عندما نُميّت النباتات — بعد ذلك — فى ملوحة مرتفعة نسبيًّا. وكان ذلك مصاحبًا بزيادة فى نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم فى النموات الخضرية وزيادة فى وزن الثمار، مقارنة بمعاملة الشاهد التى لم تُشَرَّب فيها البذور بالمحلول الملحى.

النمو النباتى والمحصول

- يتبين من دراسات Snapp & Shennan (١٩٩٤) أن زيادة الملوحة الأرضية تؤدى إلى جعل جذور الطماطم أقل سمكاً، مع زيادة سرعة وصولها إلى مرحلة الشيخوخة بنحو ٥٠٪، وتجعل المجموع الجذرى أكثر قابلية للإصابة بفطر *Phytophthora parasitica* مسبب مرض عفن الجذر الفيتوفثورى.

- هذا.. ويكون نمو الجذور بطيئًا عندما تصل الملوحة إلى ٤–٦ ديسى سيمنز/م، إلاّ أنها تكون أقل تأثرًا عن النموات الخضرية (Curatero & Fernández – Munoz ١٩٩٩).

• وعلى الرغم من أن أى زيادة فى درجة ملوحة المحاليل المغذية المستعملة فى رى نباتات الطماطم فى المزارع المائية يترتب عليها حدوث نقص تدريجى فى محصول الثمار، إلا أن النمو النباتى والمحصول — تحت ظروف الحقل — يتوقفان على أقل درجة من الملوحة يتعرض لها أى جزء من المجموع الجذرى. وقد ثبت ذلك من دراسة قُسِّم فيها المجموع الجذرى إلى أربعة أجزاء، وضع كل واحد منها فى آنية مستقلة، واستعمل فى كل آنية منها محلول مغذٍ يختلف فى درجة ملوحته (Papadopoulos & Rending ١٩٨٣). ويستدل من ذلك على أنه فى حالات الرى بالتنقيط (والتى يوجد فيها أجزاء من المجموع الجذرى للنبات الواحد فى مواقع مختلفة حول النقاط تختلف فى شدة ملوحتها) يتوقف النمو الكلى للنبات على أقل تركيز للأملاح فى المواقع التى تصل إليها الجذور، وليس على متوسط تركيز الأملاح فى كل منطقة النمو الجذرى.

• ولم تؤد زيادة ملوحة المحلول المغذى إلى ٥,٥ مللى موز/سم — بإضافة كلوريد الصوديوم إليه — إلى نقص محصول الطماطم، فى الوقت الذى حَسُنت فيه هذه الدرجة المتوسطة من الملوحة جميع خصائص الجودة فى الثمار باستثناء إحداث نقص فى محتواها من عنصر الكالسيوم. كما وجد أن الملوحة العالية المُحَدثة بزيادة البوتاسيوم كانت أكثر ضررًا على النباتات عن تلك المحدثة بزيادة الصوديوم.

وبالمقارنة.. وجد Adams & Ho (١٩٨٩) أن الملوحة العالية (٨ مللى موز/سم) أحدثت نقصًا فى المحصول ظهر فى صورة نقص فى وزن الثمرة، استمر طيلة موسم الحصاد، مع نقص فى عدد الثمار ظهر بعد ٤ أسابيع من بداية موسم الحصاد. كما وجد أن إحداث تلك الزيادة العالية فى الملوحة بزيادة تركيز أى من العناصر الكبرى الضرورية للنبات (البوتاسيوم، والمغنيسيوم، والكالسيوم، والنيتروجين النتراتى) أو الصوديوم أحدثت تأثيرًا متماثلاً فى كل الحالات.

• كذلك وجد Alarcón وآخرون (١٩٩٤) أن زيادة تركيز كلوريد الصوديوم فى مياه الرى من صفر إلى ١٤٠ مللى مولارًا أحدثت نقصًا معنويًا فى محصول الطماطم تمثَّل فى

نقص كلٍ من عدد الثمار وحجمها. وقد احتوت ثمار النباتات التى أُعطيت معاملة الملوحة العالية تركيزات أعلى من السكريات المختزلة، والأحماض العضوية عن ثمار الكنترول، كما كانت فترة حياتها الكلية (من بداية العقد إلى مرحلة الشيخوخة) أقصر من ثمار الكنترول.

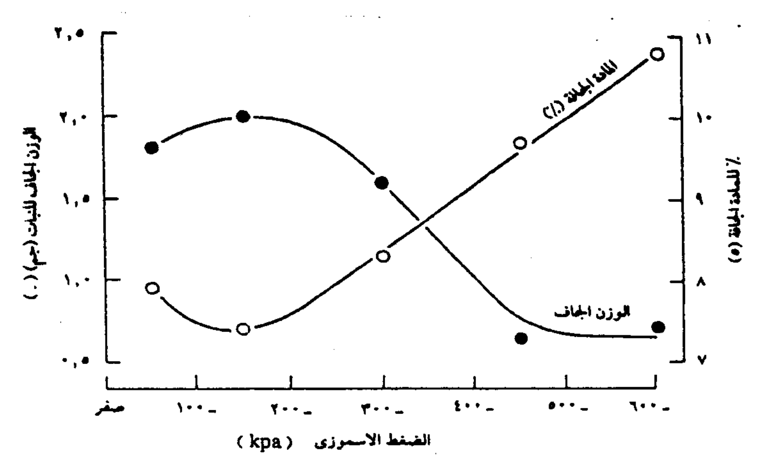
• كذلك درس Bolarin وآخرون (١٩٩٣) تأثير إضافة كلوريد الصوديوم بتركيز صفر، و ٣٥، ٧٠، و١٤٠ مللى مولار إلى ماء الرى أو المحلول المغذى على نمو ومحصول نباتات الطماطم، مع بدء المعاملة إما عند زراعة البذور، وإما عند مرحلة تكوين الورقة الحقيقية الرابعة، واستمرارها — فى كلتا الحالتين — إلى نهاية الحصاد (حتى ١٨٠ يومًا من الزراعة). كان متوسط درجة التوصيل الكهربائى للتربة فى منطقة نمو الجذور ١,٧، و٥,٣، و٨,٠، و ١٤,٦ مللى موز/سم لمعاملات تركيزات كلوريد الصوديوم صفر، و٣٥، و٧٠، و١٤٠ مللى مولا، على التوالى. وقد وُجِدَ أن تحمل الملوحة — معبرًا عنه بزيادة الوزن الجاف للنمو الخضرى للنباتات — ازداد مع تقدم النباتات فى العمر، عندما كانت بداية معاملة الملوحة عند زراعة البذور، بينما وصل تحمل الملوحة أقصاه عند عمر ٤٥ يومًا فى النباتات التى بدأت فيها معاملة الملوحة عند مرحلة نمو الورقة الحقيقية الرابعة. وقد تساوت النباتات المكتملة النمو فى تحملها للملوحة فى كلتا المعاملتين. وكان محصول الثمار أعلى عندما بدأت معاملة الملوحة عند زراعة البذور، وذلك مقارنة بالمحصول عندما بدأت المعاملة فى مرحلة تكوين الورقة الحقيقية الرابعة. وقد نقص الوزن الجاف للنمو الخضرى مع زيادة محتواه من كل من الكلور والصوديوم.

• يقل المحصول عند زراعة الطماطم فى محلول مغذٍ ذات ضغط أسموزى ٢,٥ ديسى سيمنز/م أو أعلى من ذلك، ومع زيادة الـ EC عن ٣,٠ ديسى سيمنز/م ينخفض المحصول بمقدار ٩٪ — ١٠٪ مع كل زيادة مقدارها ديسى سيمنز واحد/م. ويكون مرد الانخفاض فى المحصول فى الحدود الدنيا للـ EC العالى إلى نقص فى متوسط وزن الثمرة، بينما يعزو الانخفاض فى المحصول فى المستويات العليا من الـ EC المرتفع إلى نقص عدد الثمار. ولهذا السبب يمكن إنتاج الأصناف المتوسطة فى حجم ثمارها فى

مستويات متوسطة من الملوحة لأن تأثير الملوحة على حجم ثمارها لا يكون ملحوظًا (Cuartero & Fernández – Munoz ١٩٩٩).

• ويوضح شكل (١٢-١) تأثير الملوحة على كل من الوزن الجاف، ونسبة المادة الجافة فى نبات الطماطم. يتضح من الشكل أن الزيادة التدريجية فى الملوحة – معبرًا عنها بالضغط الأسموزى – تؤدى إلى زيادة طفيفة فى الوزن الجاف للنبات عند ضغط أسموزى قدره 100 kPa – يعقبها نقص حاد فى الوزن الجاف للنبات عند زيادة الملوحة عن ذلك. وفى المقابل يحدث نقص طفيف فى نسبة المادة الجافة فى النبات بزيادة الضغط الأسموزى إلى 100 kPa – تعقبه زيادة مضطردة فى نسبة المادة الجافة، مع استمرار الزيادة فى الملوحة. ومعنى ذلك أن العلاقة عكسية بين الوزن الجاف للنبات، ونسبة المادة الجافة به (Adams ١٩٨٦).

• ويستدل من دراسات Satti وآخرين (١٩٩٤) تأثُّر النمو النباتى الكلى سلبيًّا بازدياد ملوحة التربة، متمثلاً فى نقص الوزن الكلى للنبات، وارتفاعه، وعدد الأوراق، ووزن الثمار، ومتوسط وزن الثمرة. ولكن إضافة نترات الكالسيوم أدت إلى خفض التأثير الضار لزيادة كلوريد الصوديوم.



شكل (١٢-١): تأثير الملوحة على كل من الوزن الجاف (•)، ونسبة المادة الجافة (○) فى نبات الطماطم.

نوعية الثمار

• تؤدى زيادة الملوحة إلى زيادة محتوى ثمار الطماطم من السكريات والمادة الجافة بصورة عامة. وقد وجد Adams (١٩٩١) أن الملوحة العالية (٨ مللى موز/سم) — سواء أُحدِثت بزيادة تركيز أى من العناصر الكبرى (النيتروجين النيتراتى، أو البوتاسيوم، أو الكالسيوم)، أو الصوديوم — أدت إلى نقص محصول الطماطم، إلا أنها أدت — كذلك — إلى زيادة نسبة ثمار الدرجة الأولى. هذا.. إلا أنه فى مستوى الملوحة الأعلى من ذلك (١٢ مللى موز/سم) حدث انخفاض فى عدد الثمار/نبات، والوزن الجاف للثمرة، ومحتواها من السكريات، وكان النقص فى هذه القياسات أشد عندما استعملت العناصر الكبرى الضرورية فى الوصول إلى هذا المستوى المرتفع من الملوحة، مقارنة باستعمال كلوريد الصوديوم لهذا الغرض.

• وقد وجد Sanden & Uittien (١٩٩٥) أن زيادة الثمار فى الحجم ترتبط عكسيًّا مع كل من الزيادة فى ملوحة المحلول المغذى، وفترة التعرض للملوحة العالية أثناء تكوين الثمار.

• تُحسِّن الملوحة من طعم ثمار الطماطم بزيادتها لكل من السكريات والأحماض، لكن تزداد حالات الإصابة بتعفن الطرف الزهرى (Curatero & Fernández – Munoz ١٩٩٩).

• يرجع التحسن فى طعم ثمار الطماطم الذى يحدث عن تعريض النباتات للشدِّ الملحى إلى زيادة محتوى تلك الثمار من كل من: السكريات والأحماض العضوية والأحماض الأمينية (Zushi & Matsuzoe ٢٠١١).

• يزداد تركيز الأحماض الأمينية الحرة — بما فى ذلك الـ glutamate — تحت ظروف الملوحة العالية (درجة توصيل كهربائى قدرها ٤ ديسى سيمنز/م لمحلول الرى مقارنة بـ ١,٦ ديسى سيمنز/م فى الكنترول)؛ الأمر الذى قد يُسهم فى التحسن فى طعم

الثمار الذى يلاحظ فى ظروف الملوحة العالية.

أما تعريض الطماطم لظروف نقص الرطوبة الأرضية (الرى بمعدل ٢٥٪ من الكنترول)، فقد أسهم فى زيادة تركيز الحامضين الأمينيين proline، وzeta-aminobutyrate، علمًا بأن كليهما ازداد – كذلك – تحت ظروف الملوحة العالية (Zushi & Matsuzoe ٢٠٠٦).

• ويؤدى كل من الشدّ الرطوبى والشدّ الملحى إلى نقص كلاً من الكاروتينات وحامض الأسكوربيك فى الثمار (De Pascale وآخرون ٢٠٠٧).

• أدى رى الطماطم النامية فى مزرعة صوف صخرى بمحلول مغذٍ ملحى بلغت درجة توصيله الكهربائى ٨ مللى سيمنز/سم (يعادل ١٠٪ ماء بحر) إلى زيادة محتوى الثمار من المادة الجافة والمواد الصلبة الذائبة الكلية والحموضة المعايرة، ولكن مع إحداث المعاملة لخفض فى كمية محصول الثمار (Incerti وآخرون ٢٠٠٧).

• يؤدى رى الطماطم بالماء المالح قليلاً إلى رفع محتوى الثمار من الجلوكوز من حوالى ١٠٠ (فى حالة الرى بالماء غير الملحى) إلى ٢٠٠ مجم/ديسى لتر، لكن ذلك يكون مصاحبًا بزيادة فى نسبة الثمار المصابة بتعفن الطرف الزهرى ونقص فى محصول الثمار. وتُعالج مشكلة تعفن الطرف الزهرى بزيادة تركيز الكالسيوم فى المحلول المغذى. أما نقص المحصول فيعالج بزيادة كمية الماء المستخدمة فى الرى بالماء الملحى بالقدر الذى يكفى لغسيل الملح المتراكم فى منطقة نمو الجذور؛ حيث يحافظ ذلك الإجراء على كل من جودة الثمار وكمية المحصول (Plaut & Grava ٢٠٠٠).

• أحدث رى الطماطم بماء ملحى (مضاف له كلوريد الصوديوم) ذات درجة توصيل كهربائى ١٥,٧ ديسى سيمنز/م – مقارنة بالرى بماء عذب ذات ملوحة ٠,٥ ديسى سيمنز/م – التغيرات الآتية فى ثمار الطماطم:

١– انخفاض فى وزن الثمرة وفى محتواها من الماء.

٢– زيادة فى تركيز محتوى الثمار من المواد الصلبة والكربوهيدرات والصوديوم والكلوريد.

٣- زيادة الحموضة المعايرة.

٤- انخفاض شدة التلون الأحمر جوهريًّا.

٥- انخفاض تركيز الفوسفور والبوتاسيوم والمغنيسيوم والنترات بالثمار.

٦- ازدياد تركيز الكاروتينات الكلية والليكوبين بزيادة الملوحة من ٠,٥ إلى ٤,٤ ديسى سيمنز/م، ثم انخفاضه بزيادة الملوحة عن ذلك (De Pascale وآخرون ٢٠٠١).

• دُرس تأثير درجات التوصيل الكهربائى (EC) للمحلول المغذى المنخفضة (٠,٢ سيمنز/م)، والمتوسطة (٠,٣٥ سيمنز/م)، والعالية (٠,٥ سيمنز/م) على صفات جودة ثمار الطماطم المنتجة، ووجد أن الطماطم المنتجة فى الملوحة العالية كانت أعلى جوهريًّا فى الطعم واللون الأحمر، وأصغر حجمًا، وأكثر صلابة (إحساس فى الفم) أو أقل صلابة (إحساس باللمس). ولقد ارتبطت كافة صفات الجودة المقيسة (اللون الخارجى، والـ pH، والحموضة المعايرة، والمواد الصلبة الذائبة، والصلابة) جيدًا مع تقديرات الجودة الحسية (الاحمرار، والطعم، والحموضة، والحلاوة، وطراوة الملمس باليد)، إلاّ أن التحليل الحِسّى هو الذى أظهر أن الصلابة الخارجية والداخلية تختلفان فى استجابتهما لمعاملات الـ EC، وربما أنهما يسلكان آليات تركيبية أو فسيولوجية مختلفة (Cliff وآخرون ٢٠١٢).

• دُرس تأثير الملوحة العادية بالمحلول المغذى (EC = ٢,٤ ديسى سيمنز/م) والملوحة العالية (٤,٨ ديسى سيمنز/م) فى مزارع الصوف الصخرى على بعض صفات جودة ثمار الطماطم على مدار العام. وقد أظهرت تركيزات الليكلوبين والمواد الصلبة الذائبة الكلية اختلافات موسمية، وكان التأثير الأكبر فى الليكوبين، كما تسبب الـ EC العالى فى زيادة تركيز الليكوبين بنسبة ١٨٪ والمواد الصلبة الذائبة الكلية بنسبة ٢٠٪. وإلى جانب تأثير EC المحلول المغذى المستعمل، فإن عوامل أخرى أثرت على الصفات المدروسة، وكان أهمها تأثير درجة الحرارة على الليكوبين، والفترة الضوئية على المواد الصلبة الذائبة الكلية (Kubota وآخرون ٢٠١٢).

• تتوفر بثمار الطماطم نُظُم مضادة للأكسدة تحميها من الشدّ التأكسدى الذى يستحثه الشدّ الملحى. فعندما أُضيف كلوريد الصوديوم للمحلول المغذى للطماطم بتركيز ١٠٠ مللى مول حافظت الثمار على مستوى أكسدة الدهون lipid peroxidation وفوق أكسيد الأيدروجين فيها. وفى الزراعة الصيفية للصنف House Momotaro أُرجعت نُظُم تضادية الأكسدة إلى التفاعلات الإنزيمية لكل من الـ ascorbate peroxidase والـ glutathione reductase، بينما أُرجعت فى الصنف Mini Carol إلى تفاعلاتها غير الإنزيمية لكل من الـ ascorbate والـ glutathione. أما فى الزراعة الشتوية فلم تتأثر نظم تضادية الأكسدة فى أى من الصنفين. هذا بينما ازداد محتوى البرولين بالنباتات فى موسمى الزراعة فى كلا الصنفين (Zushi & Matsuzoe ٢٠٠٩).

الإصابات المرضية

تؤدى الملوحة الأرضية العالية إلى زيادة قابلية نباتات الطماطم للإصابة بمسببات الأمراض، مثل نيماتودا تعقد الجذور، والفطريات المسببة لمرض تساقط البادرات (مثل: *Rhizoctonia solani*، و *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*). كما وجد Swiecki & McDanald (١٩٩١) أن تعريض نباتات الطماطم للملوحة العالية أدى إلى زيادة إصابتها بالفطر *Phytophthora parasitica* مسبب مرض عفن الجذور الفيتوفثورى، سواء أكان تعرض النباتات للملوحة قبل أو بعد حقنها بالفطر، ولكن معاملة الملوحة التى أجريت فى مراحل النمو المبكرة (قبل الإزهار) كانت أكثر تأثيرًا من التى أجريت فى المراحل المتأخرة (بعد الإزهار). وتجدر الإشارة إلى أن الملوحة العالية أثّرت سلبيًّا كذلك على أعداد الجراثيم السابحة التى أنتجها الفطر فى التربة وعلى حركتها؛ مما يعنى شدة تأثر الطماطم بالفطر فى الملوحة العالية، حتى مع ضَعْف تواجد الفطر فى التربة.

التغيرات الفسيولوجية التى يحدثها تعرض نباتات الطماطم للملوحة العالية

• يستفاد من دراسات Longuenesse & Leonardi (١٩٩٤) أن تركيز الأملاح فى

المحلول المغذى يؤثر على نباتات الطماطم النامية فى مزارع الصوف الصخرى. فبعد أسبوع واحد من استعمال محلول مغذٍ ملحى بلغت درجة توصيله الكهربائى ٦ مللى موز/سم — مقارنة باستعمال المحلول المغذى العادى الذى بلغت درجة توصيله الكهربائى ١,٨ مللى موز/سم — انخفضت كفاءة البناء الضوئى بمقدار ٥٠٪، ونقص معدل النتح بنسبة ٥٠٪، وتوصيل الثغور stomatal conductance بنسبة ٨٠٪ فى النباتات المعرضة لظروف الملوحة العالية، وذلك عندما كان تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى عاديًّا (٣٥٠ جزءًا فى المليون). ولكن عندما رُفِعَ تركيز ثانى أكسيد الكربون إلى أكثر من ٨٠٠ جزءٍ فى المليون لم تختلف القياسات السابقة معنويًّا بين النباتات التى استعمل معها المحلول المغذى الملحى وغير الملحى؛ مما يدل على أن النقص الذى حدث فى معدلى النتح والبناء الضوئى كان مرده إلى نقص توصيل الثغور تحت ظروف الملوحة العالية.

• كذلك درس Xu وآخرون (١٩٩٤) تأثير الملوحة العالية فى المحلول المغذى (EC = ٤,٥ مللى موز/سم)، مقارنة بالملوحة المنخفضة نسبيًّا (EC = ٢,٣ مللى موز/سم)، والشد الرطوبى العالى (امتلاء ٥٥٪ من السعة الشعرية بالماء)، مقارنة بالشد الرطوبى المنخفض (امتلاء ٩٥٪ من السعة الشعرية بالماء) على بعض الخصائص الفسيولوجية لنباتات الطماطم النامية فى مزرعة لاأرضية أساسها البيت موس. وجد الباحثون أن زيادة أى من ملوحة المحلول المغذى أو الشد الرطوبى أدت إلى نقص معدل البناء الضوئى، وكان مرد ذلك إلى نقص مماثل أحدثته معاملتى الملوحة والشد الرطوبى فى توصيل الثغور والنسيج الوسطى، مع تأثير أكبر للمعاملتين على توصيل الثغور. كذلك أدت زيادة الملوحة إلى زيادة محتوى الأوراق من الكلوروفيل؛ الأمر الذى انعكس على صورة زيادة نسبية فى معدل البناء الضوئى — مقارنة بالكنترول (معاملة الملوحة المنخفضة) — فى مطلع النهار عندما كانت الإضاءة ما زالت ضعيفة. وقد انخفض كذلك الجهد المائى للأوراق بزيادة أى من الملوحة أو الشد الرطوبى؛ مما أدى فى نهاية الأمر

إلى انخفاض معدل البناء الضوئى. وقد كان للملوحة العالية والشد الرطوبى العالى تأثيرات متجمعة على كل من البناء الضوئى والعمليات الفسيولوجية المرتبطة به.

- وفى دراسة لاحقة (Xu وآخرون ١٩٩٥ أ) وجد الباحثون أن معاملتى الملوحة العالية والشد الرطوبى العالى — المبينتان أعلاه — أحدثتا — منفردتين أو مجتمعتين — نقصًا فى كل من النتح الثغرى stomatal transpiration، والنتح الأديمى cuticular transpiration.

- وفى دراسة أخرى وجد Xu وآخرون (١٩٩٥ب) أن زيادة الضغط الأسموزى إلى EC = ٤,٠ مللى موز/سم أدت إلى نقص إنتاج الطماطم من المادة الجافة فى مزارع تقنية الغشاء المغذى، ولكن ليس فى مزارع الصوف الصخرى، بينما أدت هذه المعاملة إلى زيادة كفاءة البناء الضوئى فى كلا النوعين من المزارع. ولم تكن صفتا إنتاج المادة الجافة وكفاءة البناء الضوئى مرتبطتين فى مختلف معاملات الملوحة.

- كذلك تؤدى زيادة الملوحة إلى زيادة إنتاج نباتات الطماطم لغاز الإثيلين، ولكن يختلف التأثير باختلاف تركيز الملح. فقد أدت زراعة الطماطم فى محلول مغذٍ يحتوى على كلوريد الصوديوم بتركيز ٨٠ مللى مولا إلى تأخير النمو الخضرى بما يوازى ستة أيام من النمو، مع زيادة أولية فى إنتاج النباتات من الإثيلين، ولكن إنتاج الإثيلين انخفض إلى المستوى الطبيعى بعد خمسة أيام من معاملة الملوحة، كما كان النمو الخضرى الكلى للنباتات مماثلاً لنمو نباتات معاملة الشاهد. وبالمقارنة .. أدت زراعة الطماطم فى محلول مغذٍ يحتوى على تركيز ١٦٠ جزءًا فى المليون من كلوريد الصوديوم إلى ضعف النمو بشدة، مع زيادة مستمرة فى إنتاج الإثيلين عن المستوى الطبيعى (Botella وآخرون ١٩٩٣).

- أدت زيادة الملوحة إلى زيادة تركيز الأيونات فى أوراق الطماطم، وخاصة المسنة بها، بينما ازداد تراكم البروتين فى الأوراق الحديثة بصورة أكبر (عن Soliman & Doss ١٩٩٢).

• أدت زيادة الملوحة من ٣ إلى ٨ ديسى سيمنز/سم إلى نقص تراكم المادة الجافة فى كل من الخيار والطماطم، وإلى نقص كل من امتصاص الكالسيوم والمحصول بصورة أكثر وضوحًا فى الخيار منه فى الطماطم (عن Ho & Adams ١٩٩٤).

• وتؤدى زيادة الملوحة إلى زيادة تركيز أيون الصوديوم بجذور وأوراق الطماطم، ويرتبط تحمل الملوحة بتنظيم تراكم الصوديوم بحيث يزيد تركيزه فى الأوراق المسنة عما فى الأوراق الحديثة.

• وبينما لا يتأثر تركيز أيونا الكالسيوم والبوتاسيوم فى جذور الطماطم فى ظروف الملوحة العالية، فإن تركيزهما ينخفض فى الأوراق. وتؤدى زيادة الكالسيوم والبوتاسيوم فى المحلول المغذى فى ظروف الملوحة إلى زيادة امتصاصهما؛ ومن ثم زيادة نسبة كل من أيونى الكالسيوم والبوتاسيوم إلى الصوديوم إلى نسبة تقارب النسبة فى الظروف العادية.

هذا.. وتستمر المحافظة على تركيزات النترات بالجذور فى ظروف الملوحة العالية عما يكون عليه الحال فى الأوراق (Curatero & Férnandez-Munoz ١٩٩٩).

• أدت زراعة الطماطم فى محاليل مغذية تحتوى على ٧٠,٤ مللى مول كلوريد صوديوم إلى خفض كل من معدل البناء الضوئى بالأوراق، ومحتواها من الكلوروفيل، ودرجة توصيلها الغازى، وأدت إضافة الكالسيوم بتركيز ٢٠ مللى مول إلى منع تلك الأضرار، ولكنها لم تمنع الآثار السلبية لزيادة كلوريد الصوديوم على طول الأوراق ومعدل استطالتها — والذى كان مرده إلى ارتفاع الضغط الأسموزى وليس إلى تأثيرات خاصة بأيون الصوديوم — والذى انعكس سلبيًّا — كذلك — على الوزن الجاف للنباتات (Montesano & van Iersel ٢٠٠٧).

• دُرس تأثير مستويات مختلفة من الملوحة، هى: ٢,٧، و٤,٥، و٦,٠، و٧,٥، و٨,٦ ديسى سيمنز/م — بإضافة كلوريد الصوديوم إلى المحلول المغذى — على النمو النباتى ومحتوى الأوراق من مختلف العناصر فى الطماطم، ووجد ما يلى:

١- أدت زيادة الملوحة فى المحلول المغذى إلى خفض الوزن الجاف للنباتات من ٥٣٤ إلى ٣٧٥ جم/نبات.

٢-أحدثت زيادة الملوحة – كذلك – زيادة خطية فى محتوى الأوراق من الصوديوم (من ٠,٣٧٪ إلى ١,٣٩٪)، والكلوريد (من ١,٧٥٪ إلى ٥,٧٣٪)، وكذلك فى محتوى الثمار من العنصرين (من ٠,٠٨٪ إلى ٠,٢٦٪ للصوديوم، ومن ٠,٦٣٪ إلى ١,٣٤٪ للكلوريد). وكان محتوى العنصرين أعلى فى الأوراق السفلى (تحت العنقود الأول عنها فى الأوراق الأعلى (تحت العنقود الخامس).

٣- أحدثت زيادة الملوحة خفضًا خطيًا فى محتوى الأوراق من النترات (من ١,٢١٪ إلى ٠,٥٠٪)، والنيتروجين الكلى (من ٣,٣١٪ إلى ٣,٠٣٪)، والكبريتات (من ٣,٧١٪ إلى ٣,١٢٪)، والبوتاسيوم (من ٢,٧٦٪ إلى ١,٥١٪). وكان الانخفاض فى البوتاسيوم أكثر وضوحًا فى الأوراق العليا منه فى الأوراق السفلى.

٤- انخفضت جميع العناصر الكبرى – عدا الكالسيوم – فى أنسجة الثمرة بزيادة الملوحة ، وإن كان النقص فى مستوى الثمار من الفوسفور لم يظهر إلاّ فى العنقود الخامس.

٥- لم تؤد زيادة الملوحة إلى خفض تركيز العناصر الكبرى فى النبات إلى مستوى النقص، الذى تظهر معه أعراض النقص، وذلك باستثناء الحالة مع عنصر البوتاسيوم (Giuffrida وآخرون ٢٠٠٩).

تأثير التغير اليومى – بين النهار والليل – فى مستوى الملوحة

نتناول هذا الموضوع بالدراسة بالنسبة للمزارع اللاأرضية فقط، وهى النوعية الوحيدة من المزارع التى يمكن فيها التحكم فى ملوحة الوسط الذى تنمو فيه الجذور، وتغيير مستوى الملوحة نهارًا عما يكون عليه الحال ليلاً.

تُنتج الطماطم تجاريًّا فى مزارع تقنية الغشاء المغذى – وغيرها من المزارع المائية أو اللاأرضية – عند مستوى ثابت من الملوحة يتراوح – عادة – بين ٣٠ و٧٥ مللى مولارًا

(mM) من الأيونات الكلية، وهو ما يعادل ضغطًا أسموزيًا (π) يتراوح بين ٠,٠٧ و٠,١٨ ميجاباسكال (MPa)، أو درجة توصيل كهربائى (EC) تتراوح بين ٢ و ٥ مللى موز/سم (أو dS/m). ويعتبر هذا المستوى الثابت للملوحة الكلية محصلة لعديد من الدراسات التى أجريت فى هذا المجال. وتؤدى التركيزات الأقل من ذلك للمحاليل المغذية إلى أن يصبح تركيز العناصر الغذائية منخفضًا إلى مستويات حرجة للنمو النباتى، كما قد تؤدى التركيزات الأعلى إلى إحداث تأثيرات سلبية على النمو النباتى من خلال ما تحدثه من ارتفاع فى الضغط الأسموزى لبيئة نمو الجذور.

فمن المعروف أن ارتفاع الضغط الأسموزى فى بيئة الجذور يقلل من تيسر الماء للنبات. ومع زيادة معدلات النتح، فإن الضغط الأسموزى المرتفع قد يُخفض الجهد المائى فى النبات، وهو ما يرتبط بعدم امتلاء الخلايا؛ الأمر الذى يرتبط بضعف ازدياد الخلايا فى الحجم؛ وبالتالى نقص النمو. كذلك قد يؤدى ارتفاع الضغط الأسموزى فى بيئة الجذور إلى نقص النمو بسبب انغلاق الثغور الذى يحدث إما كنتيجة لعدم امتلاء الخلايا فى الأوراق، وإما بسبب ما قد يصدر من الجذور من إشارات signals بهذا الخصوص. ويؤدى انغلاق الثغور إلى ضعف النمو بسبب انخفاض معدل البناء الضوئى فى مثل هذه الظروف.

ومن المعروف أن تغير الضغط الأسموزى فى بيئة الجذور يتبعه — دائمًا — تغيرات فورية فى الجهد المائى، ومعدل اتساع الخلايا (زيادتها فى الحجم). وتأسيسًا على ذلك، اقترح بعض الباحثين أن إحداث تغييرات — لفترات قصيرة — فى مستوى ملوحة الوسط الذى تنمو فيه الجذور يمكن أن يترتب عليه تحسنًا فى النمو النباتى وفى كمية المحصول ونوعيته. وبالفعل.. وُجِدَ أن خفض مستوى ملوحة المحلول المغذى نهارًا مع بقائه مرتفعًا ليلاً أدى إلى زيادة النمو الخضرى لبادرات الطماطم. وقد اختبر Van Ieperen (١٩٩٦أ) هذا الأمر فى نباتات الطماطم المثمرة، حيث قام بإنتاج الطماطم فى مزارع تقنية الغشاء المغذى مع استعمال محاليل مغذية اختلفت فى مستوى ملوحتها بين النهار والليل

(نهار/ليل) على النحو التالى: ٥/٥، و٩/٩، و٩/١، و١/٩ مللى موز/سم، وكانت نتائج الدراسة كما يلى: ازداد المحصول كثيرًا فى المعاملة ٩/١، وانخفض فى المعاملة ١/٩، ولكن كان الانخفاض فى المحصول أشد فى المعاملة ٩/٩. وقد أُرجعت معظم الاختلافات فى المحصول بين المعاملات إلى الاختلافات فى متوسط وزْن الثمرة، فيما عدا فى المعاملة ٩/٩ التى نقص فيها عدد الثمار - كذلك - بعد ١٢ أسبوعًا من بداية الحصاد. وقبل وصول النباتات إلى مرحلة الإثمار نقص النمو الخضرى للنباتات الصغيرة فى المعاملة ٩/٩، وبدرجة أقل فى المعاملة ١/٩، وذلك مقارنة بالمعاملة ٥/٥، ولكنه لم يتأثر فى المعاملة ٩/١ مقارنة بالكنترول (٥/٥)، كما حُصِلَ على نتائج مماثلة بالنسبة لمساحة أوراق النبات. وبعد ١٢ أسبوعًا من بداية الحصاد انخفض عدد العناقيد الثمرية فى المعاملتين ٩/٩، و١/٩، كما ازداد توزيع المادة الجافة إلى الجذور على حساب النموات الخضرية، وذلك مقارنة بما حدث فى المعاملتين ٩/١، و٥/٥، ولكن توزيع المادة الجافة إلى الثمار ازداد فى المعاملة ٩/١، ونقص فى المعاملة ٩/٩، وذلك مقارنة بالمعاملة ٥/٥. أما نسبة المادة الجافة فى الثمار فإنها كانت أعلى ما يمكن فى المعاملة ٩/٩، وأقل قليلاً فى المعاملة ٩/١، وذلك مقارنة بالمعاملة ٥/٥، بينما كانت نسبة المادة الجافة فى الثمار فى المعاملة ١/٩ وسطًا بين النسبة فى المعاملتين ٥/٥، و٩/٩. وفى دراسة لاحقة (Van Ieperen ١٩٩٦ب).. بين الباحث التأثيرات الديناميكية للتغيرات اليومية فى الضغط الأسموزى للمحلول المغذى على النتح ونمو النباتات.

الفلفل

- أدت زيادة ملوحة المحاليل المغذية من صفر إلى ١٠٠ مللى مولار من كلوريد الصوديوم إلى نقص تراكم المادة الجافة فى نباتات الفلفل. ومن بين أربعة أصناف تم اختبارها كان الصنف إتش دى أى ١٧٤ HDA 174 أفضلها نموًا فى تركيز ٥٠ مللى مولار من كلوريد الصوديوم، كما كان أكثرها تراكمًا للصوديوم فى الأوراق. وقد نقص - بصورة عامة - تركيز البوتاسيوم، والكالسيوم، والمغنيسيوم، بينما ازداد تركيز الصوديوم

والزنك فى الأعضاء النباتية بزيادة تركيز كلوريد الصوديوم فى المحاليل المغذية. وكان النمو النباتي أضعف ما يمكن عندما بلغ تركيز الصوديوم فى نصل الورقة بين ٠,٥٪، و٤٪ على أساس الوزن الجاف (Cornillon & Palloix ١٩٩٥، و١٩٩٧).

- وفى دراسة أخرى أدت زيادة تركيز الملوحة من ٥٠ إلى ١٠٠ مللى مولار من كلوريد الصوديوم فى المحاليل المغذية إلى نقص النمو النباتى، وزيادة محتوى النباتات من كل من الصوديوم، والكلور، والبرولين، وزيادة مقاومة الثغور، بينما انخفض محتوى النباتات من كل من البوتاسيوم، والنيتروجين الكلى، والكلوروفيل (Gunes وآخرون ١٩٩٦). كذلك أدت زيادة الملوحة بين صفر و١٠٠ مللى مكافئ من كلوريد الصوديوم/لتر فى المحاليل المغذية إلى نقص محتوى الأوراق من البوتاسيوم، والفوسفور، والكالسيوم، وزيادة محتواها من الصوديوم، بينما أدت زيادة الملوحة إلى زيادة محتوى الثمار من جميع تلك العناصر (Gomez وآخرون ١٩٩٦).

- هذا.. ولم يتأثر الفلفل بالملوحة العالية حتى ٦٠ مللى مولار فى المحاليل المغذية، ولم يتجه أى من الصوديوم إلى الأوراق أو الثمار، وإنما تراكم فى نسيج النخاع فى قاعدة الساق وفى الجذور، بينما تناقص تركيز الصوديوم تدريجيًّا فى خلايا النخاع وفى العصير الخلوى باتجاه القمة النامية للنبات (Blom-Zandstra وآخرون ١٩٩٨).

- كان لزيادة تركيز الملوحة من ٢ إلى ٣، و٤،و٦، و٨ ديسى سيمنز/م، بإضافة أى من كلوريد الصوديوم أو كبريتات الصوديوم إلى المحلول المغذى للفلفل (الذى كانت درجة توصيله الكهربائى ابتداءً ٢,٠ ديسى سيمنز/م).. كان لها تأثيرًا سلبيًّا على محصول الثمار وأحجامها وجودتها، كما أدت الملوحة العالية إلى انخفاض المحصول الصالح للتسويق وزيادة فى إصابة الثمار بتعفن الطرف الزهرى. هذا.. إلاّ أن التأثير السلبى لملح الكبريتات على المحصول وصفات الجودة كان أقل من التأثير السلبى لملح الكلوريد (Navvarro وآخرون ٢٠٠٢).

- أدى رى الفلفل بماء بلغت درجة توصيله الكهربائى ٤,٤ ديسى سيمنز/م إلى نقص الوزن الجاف للنبات (الأوراق والسيقان) بمقدار ٤٦٪، والمحصول الصالح للتسويق بمقدار ٢٥٪. وبزيادة درجة التوصيل الكهربائى إلى ٨,٥ ديسى سيمنز/م بلغ الانخفاض فى الصفتين ٨٤٪، و٥٨٪، على التوالى. لم تؤثر زيادة تركيز الصوديوم والكلور فى ماء الرى جوهريًّا على مستوى البوتاسيوم فى الأوراق والثمار. وبالمقارنة.. فإن تعريض النباتات لشدِّ الجفاف أدى إلى زيادة تركيز البوتاسيوم فى الأوراق. ويستدل مما تقدم بيانه أن الصوديوم والبوتاسيوم قد يلعبا دورًا متشابهًا فى المحافظة على ضغط الامتلاء فى ظروف شدِّ الملوحة وشدِّ الجفاف، على التوالى (De Pascale وآخرون ٢٠٠٣).

- أحدث الشدُّ الأسموزى (٤ ديسى سيمنز/م) بأى من العناصر المغذية أو بكلوريد الصوديوم خفضًا فى إنتاج الكتلة البيولوجية والمحصول المبكر والكلى فى الفلفل، لكن تأثير الملوحة كان أشد من تأثير العناصر المغذية. وقد ازداد محتوى الثمار من كل من المادة الجافة والمواد الصلبة الذائبة الكلية فى كلتا المعاملتين، مقارنة بالوضع فى ثمار الكنترول (٢,٠ ديسى سيمنز/م). وأدى شد كلوريد الصوديوم إلى زيادة محتوى الفينولات بنحو ١٠٪، والكاروتينويدات بنحو ٤٠٪، مقارنة بالوضع فى ثمار الكنترول (Giuffrida وآخرون ٢٠١٤).

- هذا.. ويؤدى تعرض نباتات الفلفل القابلة للإصابة بالفطر *P. capsici* للملوحة العالية (١٤,٤ ديسى سيمنز/م) إلى تهيئتها للإصابة بالفطر (Sanogo ٢٠٠٤).

البطاطس

يمكن للبطاطس أن تنمو بصورة جيدة عندما لا تزيد درجة التوصيل الكهربائى (EC) لمستخلص التربة المشبع عن ٢,٠ مللى موز/سم، وينخفض المحصول بنسبة ١٥٪ عند ارتفاع درجة التوصيل الكهربائى إلى ٣,٠ مللى موز/سم.

وتؤدى الزيادة الكبيرة فى امتصاص النبات لعنصر الصوديوم إلى احتراق حواف

الأوراق. ولا تظهر هذه الأعراض عند توفر الكالسيوم بكثرة فى التربة؛ لأنه ينافس الصوديوم على الامتصاص. ولكن الرى بطريقة الرش بمياه تحتوى على أيون الصوديوم بتركيز يتراوح بين ٥ و١٠ مللى مكافئ/لتر يؤدى إلى ظهور أعراض احتراق حواف الأوراق.

وقبل أن تظهر أعراض احتراق حواف الأوراق فى وجود تركيزات عالية من ملح كلوريد الصوديوم، فإن التركيزات المتوسطة من الملح تؤدى إلى ظهور الأعراض التالية:

١- نقص عدد سيقان النبات، وعدد الأفرع، وعدد الأوراق، والنمو الخضرى بوجهٍ عام.

٢- ضعف النمو الجذرى.

٣- نقص المحصول.

٤- نقص نسبة النشا فى الدرنات، مع زيادة نسبة الصوديوم والكلور.

٥- كذلك وجد Nachmias وآخرون (١٩٩٣) أن زيادة ملوحة مياه الرى تؤدى إلى زيادة إصابة البطاطس بمرضَىّ: الندوة المبكرة، وذبول فيرتسيلليم.

وقد نمّا Levy وآخرون (١٩٨٨) نباتات البطاطس — من ستة أصناف — فى مستويات ملوحةٍ تراوحت بين ٢٠,٥، و٥١,٣ مللى مول من كلوريد الصوديوم، ووجدوا أن زيادة الملوحة صاحبها ما يلى:

١- نقص الجهد المائى والجهد الأسموزى للأوراق والدرنات.

٢- زيادة محتوى الدرنات من المواد الصلبة الذائبة، والبرولين، والمادة الجافة.

٣- نقص محصول الدرنات.

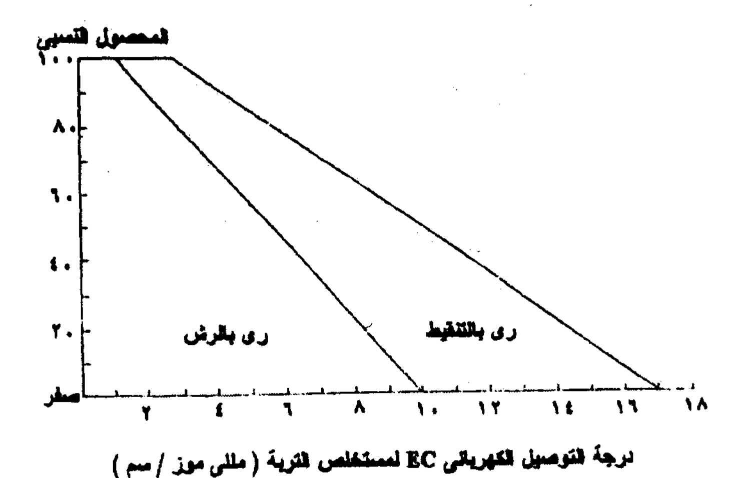
وكان الصنف ألفا متوسط التحمل للملوحة مقارنةً بالأصناف الأخرى التى شملتها الدراسة.

كما يستدل من دراسات Levy (١٩٩٢) التى قارن فيها بين تأثيرات ثلاثة

مستويات من الملوحة (منخفضة: ١,٠-١,٤ مللى موز، ومتوسطة: ٣,٨-٤,٣ مللى موز ومرتفعة: ٦,١-٦,٩ مللى موز)، أن الملوحة أخرت الإنبات، وأسرعت شيخوخة النموات الهوائية، وكان لها تأثير سلبى على معدل النمو الخضرى والدرنى، وأدت إلى نقص المحصول، وتزايد النقص فى المحصول مع زيادة تركيز الأملاح. وقد توقف مقدار النقص فى المحصول فى تركيزى الملوحة المتوسط والمرتفع على بداية معاملة الرى بالماء الملحى، كما يلى:

موعد بداية المعاملة	النسبة المئوية للنقص فى المحصول - مقارنة بالكنترول - فى تركيز الأملاح	
	المتوسط	المرتفع
عند الزراعة	٢١- ٥٤	٤٢- ٥٩
بعد الزراعة بقليل	صفر - ١٧	٢١- ٧٩
بعد ٦٦ يومًا من الزراعة	٦- ١٥	٢٢- ٣١

ويكون تأثر محصول البطاطس بملوحة مياه الرى أشدّ عن إجراء الرى بطريقة الرش منه عند إجراء الرى بطريقة التنقيط (شكل ١٢-٢).



شكل (١٢-٢): التأثير النسبى لملوحة مياه الرى على محصول البطاطس عند إجراء الرى بأى من طريقى الرش أو التنقيط (عن Van der Zaag ١٩٩١).

وقد درس Nadler & Heuer (١٩٩٥) تأثير مستويات مختلفة من ملوحة مياه الرى (١,٥، و٣,٠، و٦ مللى موز/سم فى تربة ملوحتها - ابتداء - ٢,٠ مللى موز/سم)، والرطوبة الأرضية (٣ مستويات: رى بوفرة، ورى بنحو ٦٠٪ من المعاملة السابقة خلال كل فترة النمو، ومنع الرى لمدة أسبوعين).. درسا تأثير تلك المعاملات على محصول ونوعية درنات البطاطس. وقد وجدا أن المحصول الكلى لم يتأثر بأىٍ من المعاملات، بينما انخفضت نسبة الدرنات غير الصالحة للتسويق جوهريًّا بمعاملة الملوحة العالية (٦ مللى موز/سم)، وبنقص الرطوبة الأرضية. كذلك ازدادت نسبة المادة الجافة فى الدرنات مع زيادة ملوحة مياه الرى، وكذلك مع نقص الرطوبة الأرضية، بينما ازداد محتوى الدرنات من البرولين بزيادة الملوحة فقط، وازداد محتواها من السكريات المختزلة بنقص الرطوبة الأرضية فقط. ولم تكن لأىٍ من المعاملات تأثير على لون البطاطس المحمرة.

وتجدر الإشارة إلى أن زيادة ملح كلوريد الصوديوم فى مياه الرى تؤثر سلبيًّا على امتصاص النبات لبعض العناصر الضرورية؛ ذلك لأن زيادة تركيز الصوديوم تثبط امتصاص البوتاسيوم - وأحيانًا كذلك - الكالسيوم والمغنيسيوم، وزيادة تركيز أيون الكلور تثبط امتصاص النترات بواسطة النبات.

وعند زيادة تركيز أيون الصوديوم فى المحلول الأرضى، فإنه يشجع تكوين كربونات الصوديوم التى تُحدث زيادة كبيرة فى pH التربة؛ يترتب عليها تثبيت بعض العناصر فى صورة غير صالحةٍ لامتصاص النبات؛ مثل عناصر: الفوسفور، والحديد، والزنك، والمنجنيز. هذا إلا أن وجود كربونات الكالسيوم فى التربة يمنع تكوين كربونات الصوديوم بها (Van der Zaag ١٩٩١).

وكثيرًا ما تحتوى الأراضى الملحية ومياه الرى الملحية - إلى جانب كلوريد الصوديوم - على تركيزات عالية من البورون. وعلى الرغم من أن البورون يُعد من

العناصر الضرورية للنبات، إلا أن وجوده بتركيزات عاليةٍ يكون له تأثيرات سامة. وتظهر أعراض التسمم من البورون فى البداية على الأوراق القديمة فى صورة اصفرار، وبقع، وجفاف فى أطراف وحواف الوريقات. ومع ازدياد تراكم البورون فى أنسجة الورقة يمتد الاصفرار والجفاف تدريجيًا بين العروق حتى يصل إلى وسط الورقة. ويحدث الضرر لمحصول البطاطس عند زيادة تركيز البورون فى المحلول الأرضى أو فى مياه الرى عن ١-٢ مللى مكافئ/لتر.

الكنتالوب

وجد أن رى صنفا الكنتالوب Galia، وAmarillo Oro - تحت ظروف الحقل - بمياه ملحية تبلغ درجة توصيلها الكهربائى ٦,١ ديسى سيمنز/م - مقارنة بالرى بماء عادى فى ملوحته (EC: ١,٣ ديسى سيمنز/م) - من بداية مرحلة الإثمار - لم يؤثر على المحصول الصالح للتسويق، ولكنه أدى إلى زيادة محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية فى كلا الصنفين (Botia وآخرون ٢٠٠٥).

الخيار

- أوضحت دراسات Jones وآخرون (١٩٨٩) التى قيموا فيها تأثير ٧ تركيزات من الملوحة تراوحت بين صفر، و١٥ مللى موز/سم على ٦ أصناف من الخيار أن الملوحة - فى ذلك المدى - لم تؤثر على نسبة إنبات البذور بعد ٥ أيام من بداية المعاملة، ولكنها أنقصت نمو الجذير. ومع زيادة الملوحة من صفر إلى ١٢ مللى موز/سم نقص طول البادرات ووزنها الجاف، وصاحب ذلك زيادة فى محتواها من الكالسيوم والصوديوم، ونقص محتواها من البوتاسيوم والمغنيسيوم. وعندما قورن تأثير مستويين من الملوحة، هما: ١,٦، و٤ مللى موز/سم فى النباتات الكبيرة، وجد أن الملوحة العالية أنقصت المحصول جوهريًا فى خمسة أصناف من ستة، ولكنها لم تؤثر فى نوعية الثمار. وقد وجد ارتباط فى أحد أصناف الخيار بين طول البادرة عند ملوحة ٩ مللى موز/سم والمحصول النسبى فى ملوحة ٤ مللى موز/سم.

• كذلك وجد أن كلاً من الوزن الطازج والجاف للجذور والنموات الخضرية ينخفض فى الخيار النامى فى مزارع تقنية الغشاء المغذى بزيادة تركيز ملوحة المحلول المغذى من ٢,٥ إلى ٨,٥ مللى موز/سم، دون أن تتأثر نسبة الجذور إلى النموات الخضرية، وصاحبت زيادة الملوحة نقص جوهرى فى المحصول الكلى، مع نقص جوهرى فى امتصاص النباتات للماء، ومحتواها النسبى من الرطوبة، ومعدل النتح، وتوصيل الثغور، ونقص فى محتوى الجذور والنموات الخضرية من الكالسيوم والبوتاسيوم، وزيادة فى محتواها من الكلور والصوديوم، بينما لم يتأثر معدل البناء الضوئى بمستوى الملوحة (Al-Harbi & Barrage ١٩٩٣ أ). هذا ولم تؤثر تدفئة المحلول المغذى إلى ٢٧°م — بصورة دائمة — على النمو النباتى، أو المحصول، أو على استجابة النباتات لمستويين من الملوحة، هما ٢,٥ ، و٨,٥ مللى موز/سم (Al-Harbi & Barrage ١٩٩٣ ب).

• وأدت زيادة الملوحة فى مياه الرى عن ١,٣ مللى موز/سم (حوالى ٨٣٠ جزءًا فى المليون) إلى تأخير الإنبات، ولكن لم تنخفض نسبة الإنبات النهائية حتى مع زيادة تركيز الأملاح إلى ١٦,٢ مللى موز/سم (حوالى ١٠٣٧٠ جزءًا فى المليون). وانخفض معدل نمو الجذور بزيادة تركيز الأملاح، كما قل معدل النمو النباتى بزيادة تركيز الأملاح عن ١,٣ مللى موز/سم، ووصل النقص إلى ٢٠٪، و٥٤٪، و٨٥٪ عندما بلغ تركيز الأملاح فى مياه الرى ٢,٧ ، و٥,٠ ، و١٠,٧ مللى موز/سم، على التوالى. وازداد تركيز الكلور عن الصوديوم — فى جميع الأجزاء النباتية — بزيادة تركيز ملح كلوريد الصوديوم فى مياه الرى، وظهرت أعراض أضرار الملوحة بوضوح عندما ازداد تركيز الكلور عن ٠,٤٪ والصوديوم عن ٣,٦٪ على أساس الوزن الجاف. وتبين من هذه الدراسة — التى أجريت على صنف الخيار بيبنكس Pepinex — أن المحصول ينخفض بنسبة ١٥,٩٪ مع كل زيادة قدرها وحدة EC (١ مللى موز/سم، أو ٦٤٠ جزءًا فى المليون) فى مياه الرى عن ١,٣ مللى موز/سم، وكان مرد هذا الانخفاض إلى نقص عدد الثمار التى تم حصادها،

بينما لم يكن التأثير على حجم الثمار كبيرًا . وقد بدا واضحًا من الدراسة أن هذا الصنف كان أكثر تحملاً للملوحة أثناء الإنبات عما فى مراحل النمو التالية (Chartzoulakis ١٩٩١، و١٩٩٢).

• وقد أوضح Chartzoulakis (١٩٩٤) فى دراسة لاحقة على صنف الخيار ذاته — بيبنكس — أن الرى بمحلول ملحى من كلوريد الصوديوم بتركيز ٨,٥ مللى مولار لم يؤثر على النمو النباتى، ولكن تعريض النباتات إلى درجات أعلى من الملوحة (من ٢٥ إلى ١٩٠ مللى مولار) أدت إلى غلق الثغور وخفض معدل البناء الضوئى بصورة جوهرية، مع تناقص فى الجهد المائى للأوراق، والجهد الأسموزى، وجهد الانتفاخ بتزايد تركيز الملوحة. كذلك نقص معدل زيادة مساحة الورقة ومساحتها النهائية مع زيادة تركيز كلوريد الصوديوم، وانخفض معدل النمو النسبى بمقدار ٢٢٪، و٤٩٪، و٨٠٪ عند مستوى ملوحة ٢٥، و٥٠، و١٢٠ مللى مولار، على التوالى. أى أن الملوحة أثرت على نمو الخيار من خلال تأثيرها السلبى على كل من معدل البناء الضوئى والمساحة الورقية التى يتم فيها البناء الضوئى.

• ويستدل من دراسات Ho & Adams (١٩٩٤ أ) أن زيادة درجة التوصيل الكهربائى للمحاليل المغذية من ٣ إلى ٨ مللى موز/سم أدت إلى نقص الوزن الجاف الكلى للنبات، كما أدت إلى نقص امتصاص الكالسيوم، ونقص ما وصل منه إلى الأوراق العليا للنبات، ونقص المحصول.

• وحصل Al-Harbi (١٩٩٥) على نتائج مشابهة لما سبق بيانه، حيث وجد أن الوزن الجاف لجذور الخيار ونمواته الهوائية تناقص مع زيادة تركيز الأملاح من ٢,٠ إلى ٨,٠ مللى موز/سم، ومع زيادة نسبة الصوديوم إلى الكالسيوم عند مستوى ملوحة ٤,٠ مللى موز/سم. وصاحب ارتفاع الملوحة تراكم فى كل من الصوديوم والكلور فى النباتات، مع نقص فى تراكم الكالسيوم. وتبعًا لكل من Adams & Ho (١٩٩٥) فإن زيادة الملوحة من ٣ إلى ٩ مللى موز/سم أدت إلى نقص إنتاج المادة الجافة فى الخيار، ولكن مع زيادة نسبتها فى الثمار على حساب الجزء العلوى من النمو الخضرى، ونقص

امتصاص الكالسيوم. وقد أدت زيادة الرطوبة النسبية أثناء النهار إلى نقص تراكم الكالسيوم فى أوراق الخيار. كذلك يستدل من دراسات Chartzoulakis (١٩٩٥) أن زيادة الملوحة فى المياه عن ١٠ مللى مولار كلوريد صوديوم أحدثت نقصًا معنويًا فى المحصول وعدد الثمار/نبات، مصحوبًا بزيادة فى محتواها من الكلوريد، والصوديوم، والمواد الصلبة الذائبة الكلية، ومن ثم إلى تحسين طعمها فى اختبارات التذوق.

- وأوضحت دراسات Tazuke (١٩٩٧) أن معدل النمو النسبى لثمار الخيار كان طبيعيًا مع زيادة تركيز كلوريد الصوديوم فى المحاليل المغذية حتى ٦٠ مللى مولارًا، ولكن تأثر معدل النمو النسبى للثمار بعد ذلك سلبيًّا بزيادة تركيز الملح، كما بدأت العوامل البيئية الأخرى – عند هذا المستوى المرتفع من الملوحة – فى التفاعل مع الأملاح فى التأثير سلبيًّا على معدل نمو الثمار.

وقد قُدِّر المحصول النسبى – معبرًا عنه كنسبة مئوية – عند تغير درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى بالمعادلة التالية:

$$y= -16.8x + 115$$

حيث إن x = هى درجة التوصيل الكهربائى EC معبرًا عنها بالمللى موز/سم فى حرارة ٢٥°م.

وقد اقتُرِحَ حد أقصى للملوحة التى يمكن أن تتحملها نباتات الخيار قدره ٣٠ جزءًا فى المليون من الصوديوم، و٥٠ جزءًا فى المليون من الكلور فى مياه الرى، مع عدم زيادة درجة توصيلها الكهربائى عن ٠,٥ مللى موز/سم. هذا إلا أنه يمكن زيادة تلك المستويات إلى الضِعف بأمان إذا استعملت كميات زائدة من مياه الرى لغسيل الأملاح المتراكمة فى التربة (عن Winsor & Adams ١٩٨٧).

- وتبعًا لدراسات Ho & Adams (١٩٩٤ ب) فإنه فيما بين مستويى ملوحة ٣، و٨ مللى موز/سم فى المحلول المغذى لمزارع تقنية الغشاء المغذى انخفض الوزن الجاف

لنباتات الخيار بنسبة ٩٪ مع كل زيادة قدرها وحدة EC كاملة (٦٤٠ جزءً فى المليون من الأملاح). هذا إلا أن محصول الثمار لم ينخفض إلا عندما زادت درجة التوصيل الكهربائى للمحلول المغذى عن ٥,٥ مللى موز/سم. وقد أدت الملوحة العالية إلى انخفاض نسبة ما وصل إلى النموات الخضرية من المادة الجافة، مقارنة بما وصل إلى الثمار. كذلك أدت كل وحدة EC زيادة عن ٣ مللى موز/سم إلى نقص محتوى الكالسيوم بنسبة ١٦,٦٪ فى الأوراق، و١١٪ فى الثمار.

- وقد وجد Lechino وآخرون (١٩٩٧) أن تعريض جذور الخيار لمحلول ملحى من كلوريد الصوديوم بتركيز نهائى (فى المحلول المغذى) قدره ١٠٠ مللى مولار/لتر أدت إلى زيادة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة: كاتاليز Catalase، وجلوتاثيون ردكتيز Glutathione Reductase، ومحتوى مضادات الأكسدة: حامض الأسكوربيك، والجلوتاثيون المختزل.

- وأوضحت دراسات Rosendahl & Rosendahl (١٩٩١) أن تلقيح نباتات الخيار بفطر الميكوريزا *Glomus etunicatum* أدى إلى زيادة تحملها لمستوى ملوحة قدره ٠,١ مولار من كلوريد الصوديوم فى المحلول المغذى.

الكوسة

بالمقارنة بمحاصيل الخضر الأخرى، فإن الكوسة تعد من النباتات متوسطة التحمل للملوحة، حيث أنها تتحمل مستويات من كلوريد الصوديوم تصل إلى ٢,٨ مللى موز/سم (حوالى ١٨٠٠ جزء فى المليون) فى مياه الرى، و٥,١ مللى موز/سم فى مستخلص التربة المشبع (حوالى ٣٢٥٠ جزء فى المليون) قبل أن يبدأ محصولها فى التأثر بزيادة مستويات الملوحة عن ذلك. وقُدِّر انحدار المحصول الصالح للتسويق على درجة التوصيل الكهربائى (EC) بنحو ١٢,٨٪ بالنسبة لمياه الرى، و١١,٦٥٪ بالنسبة لمستخلص التربة المشبع. وقد ازداد تركيز أيون الصوديوم فى جذور نباتات الكوسة بزيادة تركيز الأملاح، حيث وصل إلى ١٤٠٠ مللى مول/كجم من الوزن الجاف للجذور عند ١٥,٢ مللى

موز/سم. وبينما لم يتأثر تركيز الصوديوم فى الأوراق حيث ظل منخفضًا مع زيادة تركيز الأملاح، فقد ازداد فيها تركيز أيون الكلور إلى أن وصل إلى ٣٢٠٠ مللى مول/كجم من الوزن الجاف للأوراق عند ١١,٤ مللى موز/سم. ولم يتأثر امتصاص البوتاسيوم والكالسيوم كثيرًا بزيادة تركيز الأملاح (Graifenberg وآخرون ١٩٩٦).

وقد درس Villora وآخرون (١٩٩٧) تأثير زراعة نباتات الكوسة فى تركيزات متزايدة من ملح كلوريد الصوديوم (بإضافات من الملح تراوحت بين صفر، و ١٢٠ جم/م٢ من التربة) على تركيز مختلف العناصر فيها، ووجدوا — خلافًا لما وجده Graifenberg وآخرون (١٩٩٦) — أن تركيز الصوديوم ازداد فى الأوراق بزيادة تركيز الملح فى التربة. وبزيادة تركيز الملح فى التربة حدث نقص مقابل فى محتوى الأوراق من البوتاسيوم، مع زيادة فى محتوى الثمار من البوتاسيوم ونقص فى محتواها من الصوديوم. وعمومًا.. فقد ازداد مجموع محتوى الأوراق من الصوديوم + البوتاسيوم، بينما نقصت فيها نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم مع زيادة ملوحة التربة، وفى المقابل ازداد مجموع محتوى الثمار من الصوديوم + البوتاسيوم، بينما ازدادت فيها نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم مع زيادة ملوحة التربة. وقد تشابه التغير فى تركيز الكالسيوم والمغنيسيوم — عند زيادة تركيز ملوحة التربة — مع التغير فى تركيز الصوديوم فى الأوراق، ومع التغير فى تركيز البوتاسيوم فى الثمار.

البصل

يقتصر امتصاص جذور البصل للماء على الـ ٢٥ سنتيمترًا السطحية من التربة بسبب عدم تعمق جذور البصل فيها. ويبلغ أعلى ضغط انتفاخى Turger Pressure (TP) فى أوراق البصل ٠,٤ ميجا باسكال MPa، وهى قيمة منخفضة مقارنة بالأنواع المحصولية الأخرى، والتى قد يصل فيها الـ TP إلى ١,٠ ميجا باسكال. وتقل درجة توصيل ثغور البصل بسرعة مع انخفاض الـ TP فى الأوراق من ٠,١٥ إلى ٠,٠٥، علمًا

بأن سرعة انخفاض توصيل الثغور فى البصل تبلغ ثلاثة أضعاف سرعة انخفاضها فى محصول مثل الفاصوليا فى نفس المدى من الـ TP. ولذا.. تنخفض معدلات النتح والبناء الضوئى بشدة مع هذا الانخفاض فى الـ TP. كذلك ينخفض معدل نمو الأوراق خطيًا مع انخفاض الـ TP من ٠,٢٥ إلى ٠,٠٧٥ ميجا باسكال.

وعند تعرض جذور البصل لملوحة عالية فإن النباتات تستجيب لزيادة الضغط الأسموزى فى بيئة الجذور بزيادة الضغط الأسموزى بالأوراق بمقدار النصف فقط؛ ولذا.. ينخفض الـ TP فى الظروف الملحية – على خلاف ما يحدث فى محاصيل أخرى – ويحدث نقص ملموس فى معدل البناء الضوئى، ومعدل نمو الأوراق، وبالتالى فى معدل نمو المحصول. وقد وجد أن النمو يقل بمقدار ٥٠٪ بزيادة الضغط الأسموزى للمحلول الملحى (محلول كلوريد الصوديوم) فى بيئة نمو الجذور إلى ٠,١٢٥ ميجا باسكال، بينما تطلب حدوث نقص مماثل فى النمو فى محاصيل مثل الكرنب، والخس، والفاصوليا زيادة الضغط الأسموزى للمحلول الملحى إلى ٠,٤ ميجا باسكال (عن Brewster ١٩٩٤).

وقد أدى تعريض نباتات البصل لشدٍّ ملحى قدره ١٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم بدءًا من ٧٤ يومًا قبل الحصاد – أو بعد ذلك فى مواعيد مختلفة – وحتى الحصاد إلى نقص وزن الأبصال والوزن الطازج خطيًا مع التبكير فى بدء معاملة الملوحة، وكذلك أدت معاملة الملوحة إلى تقليل محتوى الأبصال من الكبريت وتقليل حرافتها، وازدادت تلك التأثيرات مع التبكير فى بدء معاملة الملوحة (Chang & Randle ٢٠٠٥).

الفاصوليا

- من المعلوم أن الفاصوليا تعد من أكثر محاصيل الخضر حساسية للملوحة. ويبدأ محصول الفاصوليا فى الانخفاض بزيادة درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى عن ٠,٧ مللى موز، ويصل الانخفاض فى المحصول إلى ٥٠٪ عند EC لمياه الرى مقداره ٢,٤ مللى موز (عن Scholberg & Locasico ١٩٩٩).

• وقد انخفضت نسبة إنبات البذور ووزن النمو الخضرى خطيًا مع الزيادة فى درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى من ١,٠ إلى ٤,٠ مللى موز (Scholberg & Locasico ١٩٩٩).

• وفى دراسة أجريت فى مزرعة مائية استعملت فيها محاليل مغذية تراوح تركيز كلوريد الصوديوم فيها بين صفر، و١٠٠ مللى مولار، أدى تركيز ٢٥ مللى مولار إلى نقص وزن النبات، ولكنه لم يؤثر على معدل النمو النسبى relative growth rate. وفد ازداد معنويًا محتوى أوراق النباتات من أيونى الكلوريد والصوديوم بزيادة تركيز كلوريد الصوديوم فى المحلول المغذى. وعند تركيز ١٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم ازداد معنويًا محتوى النباتات من السكريات الكلية والبرولين (Cachorro وآخرون ١٩٩٣).

• وقد قدرت العلاقة بين المحصول النسبى من البذور الجافة (Yr) ودرجة التوصيل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع (EC_e) بالمعادلة التالية:

$$Yr = 100 - 32.15\ (EC_e - 0.81)$$

وبزيادة الـ EC_e عن ٠,٨١ ديسى سيمنز/م dS/m انخفض محصول البذور الجافة خطيًا بزيادة الملوحة، وعند EC_e قدره ٤,٠ لم يُنتج أى محصول (Kanber & Bahceci ١٩٩٥).

• ويعتقد بأن جزءًا من حساسية الفاصوليا لأيون الصوديوم مردها إلى عدم تمييز نباتات الفاصوليا بين أيونى الصوديوم والبوتاسيوم، حيث يزداد امتصاص الصوديوم على حساب البوتاسيوم. وفى وجود مستويات مرتفعة نسبيًا من البوتاسيوم يزداد امتصاص العنصر إلى درجة معادلة تأثير زيادة التركيزات المرتفعة من كلوريد الصوديوم. هذا إلا أن زيادة تركيز كلوريد البوتاسيوم منفردًا كان سامًا لنباتات الفاصوليا، لأنه تسبب فى زيادة غير مرغوب فيها فى امتصاص البوتاسيوم، بينما أدى تواجد كلوريد الصوديوم مع كلوريد البوتاسيوم إلى معادلة هذا التأثير الضار جزئيًا بخفض امتصاص البوتاسيوم (Benlloch وآخرون ١٩٩٤).

البسلة

أدى تعريض بادرات البسلة لمستوى من الملوحة قدره ٣٠ مللى مول كلوريد صوديوم لمدة ٣ أو ٦ أيام إلى إحداث زيادة فى كل من: محتوى البرولين الحر، وتركيز ثانى أكسيد الكربون عند الـ compensation، والـ photorespiration، ومقاومة الثغور stomatal resistance، ونشاط إنزيم (s)-2-hydroxy-acid oxidase وإنزيم phosphoglycolate phosphatase. كذلك أدى التعريض للملوحة إلى انخفاض معدل البناء الضوئى، والنتح، والمحتوى البروتينى، ومحتوى الماء النسبى (Fedina & Tsonev ١٩٩٧).

وأوضحت دراسات Speer وآخرون (١٩٩٤) أن استعمال النيتروجين النشادرى فى المحاليل المغذية بتركيز ٣ مول/م^{٣} كمصدر وحيد للنيتروجين أدى – مقارنة باستعمال النيتروجين النتراتى بتركيز ٣ أو ١٤ مول/ م$^{-٣}$ إلى زيادة حساسية البسلة بشدة للتركيزات المعتدلة من الملوحة (٥٠ مول كلوريد صوديوم/م^{٣}). وقد ظهرت أعراض أضرار الملوحة على صورة ذبول فى حواف الوريقات ثم تحلل تلك الحواف، وتوافق ذلك مع زيادة فى تركيز كلوريد الصوديوم فى الأوراق، وتراكم الأمونيوم (حتى ٢٠ مول/م^{٣})، والأحماض الأمينية (حتى ١١٠ مول/م^{٣}) فى الأوراق، وبطء امتصاص الأمونيوم، ونقص المحتوى البروتينى للنباتات.

وقد ظهر الفرق بين أيونى الأمونيوم والنترات – فى إحداثهما لزيادة الحساسية للملوحة – متمثلاً فى زيادة سرعة ظهور أعراض أضرار الملوحة المذكورة أعلاه عند الاعتماد على النيتروجين النشادرى فقط كمصدر للنيتروجين، مقارنة بالاعتماد على النيتروجين النتراتى. وقد كانت قدرة النباتات المسمدة بالأمونيوم على فصل كلوريد الصوديوم وعزله عن البروتوبلازم (compartmentation capacity) أقل بكثير من قدرة النباتات المسمدة بالنيتروجين النتراتى. وبدا أن سمية الأيونات كان مردها إلى إحداثها لخلل فى الأيض فى أجزاء من النسيج الوسطى للنباتات المسمدة بالأمونيوم، أعقبه تحرر سريع للمحاليل فى

البروتوبلازم؛ توافق مع ظهور الأعراض المتطورة لأضرار الملوحة. وعلى الرغم من أن تركيز الأمونيوم فى الأوراق ازداد بصورة درامية فى المراحل المتأخرة من ظهور الأضرار، إلا أن التركيز كان شديد الانخفاض عند بداية ظهور الأضرار إلى درجة لا يمكن معها أن يكون مسئولاً عن تلك الأضرار (Speer & Kaiser ١٩٩٤).

الخس

وجد أن الشد الملحى حتى ١٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم يمكن أن يؤثر إيجابيًّا على بعض خصائص جودة الخس بعد الحصاد، وخاصة مرونة الأنسجة (التى يمكن إرجاعها إلى زيادة الشد الملحى لعدد الخلايا وخفضه لحجمها)، وزيادة متانة الأوراق؛ ومن ثم زيادة فترة صلاحيتها للتخزين بعد الحصاد؛ إلاّ أن نمو الأوراق (وزنها الطازج ومساحتها) وخصائصها المتطورة، مثل لونها ومحتواها الكلوروفيللى تنخفض بزيادة الشد الملحى (Garrido وآخرون ٢٠١٤).

القنبيط

أدت زيادة درجة التوصيل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع من ٢,٠ إلى ٦,٠ ديسى سيمنز/م إلى نقص المحصول الصالح للتسويق من ٢٦,٩ إلى ٩,٦ طن/هكتار (من ١١,٣ إلى ٤,٠ طن/فدان) فى القنبيط، ومن ١٥,٨ إلى ٤,٩ طن/هكتار (من ٦,٦ إلى ٢,١ طن/فدان) فى البروكولى، وصاحب ذلك انخفاضًا فى المساحة الورقية بفعل الشدّ الملحى بنسبة ٥٥٪ فى القنبيط، و٥٧٪ فى البروكولى. وبينما ارتبط كل من محتوى الأوراق من المادة الجافة والوزن النوعى للورقة إيجابيًّا مع درجة التوصيل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع، فإن كلاً من وزن الرأس وقطرها ارتبطا جوهريًّا بدرجة التوصيل الكهربائى. ولقد اعتُبِرَ كلا المحصولين متوسط التحمل للملوحة؛ فقد كان الحد الأقصى لتحمل الملوحة فيهما هو EC مقداره ١,٥٢ للقنبيط، و١,٢٨ للبروكولى، وكان النقص النسبى فى المحصول بعد كل زيادة مقدارها وحدة EC عن الحد الأقصى الذى يمكن تحمله هو ١٤,٣٪ للقنبيط، و١٥,٨٪ للبروكولى. وقد ازداد تركيز الصوديوم والكلوريد والكبريت فى

رؤوس القنبيط والبروكولى، بينما انخفض تركيز النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم بزيادة درجة التوصيل الكهربائى للتربة (de Pascale وآخرون ٢٠٠٥).

وأدت زيادة تركيز كلوريد الصوديوم فى المحلول المغذى للقنبيط من صفر إلى ٥٠، و١٠٠، و١٥٠ مللى مول لمدة ٣٠ يومًا إلى تقليل الوزن الجاف لكل من الجذور والنموات الخضرية، والمحتوى المائى النسبى relative water content، ومحتوى الأوراق والجذور من البوتاسيوم، والبروتينات الذائبة الكلية، والمركبات الفينولية الكلية، ومستوى الـ malondialdhyde، ونسب البوتاسيوم إلى الصوديوم والكالسيوم إلى الصوديوم بالجذور. كما أدت زيادة الملوحة إلى زيادة المحتوى المائى للأوراق، ومحتوى الأوراق والجذور من كل من الصوديوم والكلورين، والبرولين الحر بالأوراق، وكذلك محتواها من كل من الجليسين بيتين وحامض الأسكوربيك، وزيادة فى نشاط كل من السوبر أوكسيد دسميتويز superoxide dismutase والبيروكسيديز peroxidase، والكاتاليز catalase (Batool وآخرون ٢٠١٣).

الأسبرجس

يعد الأسبرجس من محاصيل الخضر الأكثر تحملاً للملوحة العالية فى التربة ومياه الرى، إلاّ أنه لا يتحمل التعرض الفجائى للملوحة العالية، كما يتأثر سلبيًّا بالارتفاع الكبير فى مستوى الملوحة.

ففى إحدى الدراسات.. وجد أن نسبة إنبات بذور الأسبرجس انخفضت من ٩٠٪ فى الكنترول إلى ٥٠٪، و١٢٪ فى ٥٠، و١٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم، على التوالى. كذلك ماتت بادرات الأسبرجس لدى تعرضها – فجأة – لتركيز ٥٠ أو ١٠٠ مللى مول من كلوريد الصوديوم، إلاّ أن تعريض النباتات لظروف الملوحة بصورة تدريجية جعلها أكثر تحملاً؛ فلم يتأثر طول نمواتها الهوائية، بينما ازداد طول جذورها، ولكن توقفت الزيادة فى الوزن الجاف للجذور عند ١٠٠ مللى مول كلوريد الصوديوم (Uno وآخرون ١٩٩٦).

وعندما كان الرى بمياه مملحة بكميات متساوية من كلوريد الصوديوم وكلوريد الكالسيوم.. نقص محصول المهاميز بمقدار ٢٪ مع كل زيادة مقدارها وحدة ملوحة واحدة تزيد عن ٤,١ ديسى سيمنز/م. وقد أُرجع النقص فى المحصول أساسًا إلى النقص فى متوسط وزن المهماز الواحد. وقد اعتبرت نباتات الأسبرجس المكتملة التكوين من أكثر المحاصيل المتحملة للملوحة. وفى هذه الدراسة أظهر الأسبرجس نفس القدرة على تحمل الملوحة فى كل من مرحلتى إنبات البذور وإنتاج المهاميز حتى ملوحة تربة مقدارها ٧,٢ ديس سيمنز/م؛ أما فى ملوحة أعلى من ذلك.. فإن إنبات البذور كان أقل قدرة على التحمل عن تكوين المهاميز. كذلك كان النمو النباتى خلال موسم النمو الأول أكثر حساسية للملوحة — بصورة جوهرية — عما فى الأعوام التالية (Francois ١٩٨٧).

وقد أمكن إنتاج الأسبرجس بنجاح كبير باتباع طريقة الرى بالتنقيط، مع استعمال مياه للرى بلغت درجة توصيلها الكهربائى ٩ مللى موز/سم، علمًا بأن درجة التوصيل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع تحت تلك الظروف كان ١٣ مللى موز/سم.

كذلك يُعد الأسبرجس شديد التحمل لزيادة تركيز البورون فى كل من التربة ومياه الرى، ولا تُحدث تركيزات من العنصر تصل إلى ثلاثة أجزاء فى المليون أى ضرر جوهرى للنباتات.

وسائل خفض الملوحة أو الحد من أضرارها

الغسيل السابق للزراعة

تحتاج الأراضى الشديدة الملوحة إلى الغسيل — قبل زراعتها بالخضر الحساسة للملوحة — بنحو ١٠٠٠ — ٢٠٠٠ م^{٣} ماء للفدان؛ ليمكن التخلص مما يوجد فيها من أملاح، ويمكن إضافة تلك الكمية من الماء بطريقة الرش. كذلك يلزم توفير صرف جيد فى الأراضى التى يرتفع فيها مستوى الماء الأرضى، وتحسين نفاذية الأراضى القليلة النفاذية بإضافة الجبس الزراعى إليها لكى يحل الكالسيوم محل الصوديوم، مع غسيل الأملاح الزائدة بالرى الغزير، وتفضل إضافة الماء بطريقة الغمر فى تلك الحالات.

وتتوقف كمية الماء التى تلزم إضافتها لخفض ملوحة التربة – ابتداء – إلى المستوى المقبول على كل من ملوحة التربة ذاتها، وملوحة مياه الرى، والمستوى الذى يُرغب فى خفض الملوحة إليه. كما تتوقف كمية الماء التى تنبغى إضافتها – كذلك – على عمق الجذور، ودرجة نفاذية التربة، وأنواع الأملاح التى توجد بمياه الرى (قيمة SAR)، وأنواع الأيونات المتبادلة، ونسبة كربونات الكالسيوم فى التربة.

وتجدر الإشارة إلى أن غسيل التربة قد يكون له تأثير سلبى على بناء التربة، ويتوقف ذلك على أنواع الأيونات المسئولة عن الملوحة، والتى توجد فى كل من التربة ومياه الرى.

وتحسب كميات الماء التى تلزم لخفض الملوحة إلى المستوى المقبول فى منطقة نمو الجذور (الكمية لكل وحدة عمق من التربة) على أساس المعادلة التالية:

$$Y = \frac{\text{درجة التوصيل الكهربائى المرغوب فيه لمستخلص التربة} - \text{درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى}}{\text{درجة التوصيل الكهربائى الأصلى للتربة} - \text{درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى}}$$

وفى الأراضى الرملية ترتبط قيمة Y بعمق الماء الذى يلزم إضافته لكل وحدة عمق من التربة على النحو التالى:

عمق ماء الغسيل لكل وحدة عمق من التربة	قيمة Y
١,٠٠	٠,١٠
٠,٦٠	٠,١٧
٠,٥٠	٠,٢٠
٠,٤٠	٠,٢٥
٠,٣٠	٠,٣٣
٠,٢٠	٠,٥٠
٠,١٥	٠,٦٠

وتعتبر كمية المياه التى تلزم لغسيل التربة هى عمق مياه الغسيل لكل وحدة عمق من التربة مضروبًا فى العمق الذى تصل إليه الجذور.

وكمثال.. نفترض أن درجة التوصيل الكهربائي لمياه الري ٢,٠ مللي موز/سم، وأن ملوحة التربة في منطقة نمو الجذور ٥,٠ مللي موز/سم، ويرغب في خفضها إلى ٣,٠ مللي موز/سم، وأن الجذور تتعمق إلى ٥٠سم:

∴ Y= (٣-٢) / (٥-٢) = ٠,٣٣

ويعني ذلك أن عمق مياه الغسيل لكل وحدة عمق من التربة تكون ٠,٣٠.

∴ كمية المياه التي تلزم لغسيل الأملاح إلى ما بعد منطقة نمو الجذور = ٠,٣٠ × ٥٠سم = ١٥سم ماء؛ أي ١٥٠مم مياه ري؛ أي ١٥٠٠م^{٣} للهكتار.

ويجب أن يضاف إلى هذه الكمية كمية المياه التي تلزم لتوصيل رطوبة التربة إلى السعة الحقلية، وكمية الماء التي تفقد بالتبخر خلال إجراء عملية الغسيل. ونظرًا لأن توزيع الأملاح لا يكون متجانسًا، وأنه قد يحدث بعض الجريان السطحي للماء.. لذا يراعى زيادة كمية المياه اللازمة المحسوبة للغسيل بمقدار ٢٥٪؛ الأمر الذي يعني — في مثالنا — إضافة ٢٠٠٠م^{٣} من الماء للهكتار؛ أي ١٢٠مم من الماء.

الغسيل أثناء النمو المحصولي

لتجنب تراكم الأملاح في التربة أثناء نمو المحصول، يلزم دائمًا زيادة كمية مياه الري — في كل رية — عما يلزم لتوصيل الرطوبة في منطقة نمو الجذور إلى السعة الحقلية؛ حيث تعمل كمية المياه الزائدة على غسيل الأملاح التي تضاف إلى التربة مع كل رية ولا تمتصها النباتات. وتتضح أبعاد هذه المشكلة عند اتباع نظام الري بالتنقيط؛ حيث يكون الهدف هو التوفير في مياه الري إلى أكبر قدر ممكن.

تعرف نسبة الزيادة في مياه الري (عما يلزم لحاجة المحصول) — التي تلزم لغسيل الأملاح المتراكمة — باسم عامل الغسيل، وهي تتوقف على كل من: مدى ملوحة مياه الري، ودرجة الملوحة التي يُراد المحافظة عليها في منطقة انتشار الجذور، وهي التي تتوقف على مدى حساسية المحصول المزروع للملوحة.

ويحسب عامل الغسيل بالمعادلة التالية:

$$LR = \frac{EC_w}{EC_{dw}}$$

حيث إن:

LR = عامل الغسيل Leaching Requirement.

EC_w = درجة التوصيل الكهربائى لمياه الرى بالمللى موز/سم.

EC_{dw} = درجة التوصيل الكهربائى لمياه الصرف drainage water.

= درجة التوصيل الكهربائى لماء التربة عند السعة الحقلية EC_{sw}.

= ٢ × درجة التوصيل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع EC_e.

وكمثال.. إذا كانت EC_w = ١ و EC_e المرغوب فى المحافظة عليها = ٢,٠

∴ EC_{dw} = ٢ × ٢ = ٤,٠ مللى موز/سم.

وإذا احتاج المحصول إلى ١٠ مم (= ١٠٠م٣ للهكتار) فى كل رية:

∴ LR = ١ ÷ ٤ = ٠,٢٥.

ويعنى ذلك ضرورة زيادة كمية مياه الرى — فى كل رية — بمقدار الربع؛ بهدف غسيل الأملاح التى تتجمع فى التربة نتيجة لعملية الرى ذاتها؛ لذا.. تصبح كمية مياه الرى التى ينبغى استعمالها فى كل رية ١٢,٥مم (عن Van der Zaag ١٩٩١).

وتبعًا لـ Ibrahim (١٩٩٢) فإن زيادة عامل الغسيل من ٠,١ إلى ٠,٥ أدى إلى زيادة محصول صنف الطماطم إدكاوى عند زراعته فى أرض رملية، علمًا بأنه من أصناف الطماطم القليلة التى تعرف بتحملها للملوحة.

الطرق الزراعية

يمكن الاستفادة من الأراضى الملحية غير المستصلحة فى الزراعة بمراعاة ما يلى:

١- معاملة البرايمنج للبذور:

تقلل الملوحة من إنبات البذور، وتؤدى إلى زيادة الفترة التى تلزم للإنبات؛ مما يؤدى إلى صعوبة منافسة المحصول المزروع بالبذرة مباشرة للحشائش، وذلك إذا زادت درجة التوصيل الكهربائى لمستخلص التربة المشبع عن ٨ ديسى سيمنز/م. وتؤدى معاملة البريمنج لبذور الطماطم بالنقع فى محلول ١ مول كلوريد صوديوم لمدة ٣٦ ساعة إلى التغلب على تلك المشكلة فى حالة الزراعة المباشرة فى الحقل.

٢- تقسية الشتلات:

إن تقسية الشتلات إما بتعريضها لماء رى معتدل الملوحة، وإما بمنع الرى عنها إلى أن تذبل الشتلات لمدة ٢٠- ٢٤ ساعة يمكن أن يفيد فى حالة الزراعة بالشتل فى أرض ملحية (Curatero & Fernández-Munoz ١٩٩٩).

٣- يوصى فى الطماطم بإجراء زراعات قصيرة الدورة يُحصد فيها ٤-٦ عناقيد فقط، خاصة وأن العناقيد العليا تكون أكثر حساسية للشدّ الملحى (Curatero & Fernández-Munoz ١٩٩٩).

٤- تفضل الزراعات الشتوية؛ حيث يكون ضرر الأملاح عليها أقل مما هو فى الزراعات الصيفية.

كذلك تقل أضرار الملوحة عند ارتفاع الرطوبة النسبية؛ فقد وجد لدى مقارنة صنفين من الطماطم أحدهما متحمل نسبيًّا للملوحة (وهو دانيلا Daniela)، والآخر حساس نسبيًّا (وهو نعومى Naomi) أن الرطوبة النسبية العالية (٧٠٪ مقارنة برطوبة نسبية ٣٠٪) تقلل كثيرًا من أضرار الملوحة على النمو فى الصنف الحساس، حيث كان النقص فى النمو النباتى ٣٤٪ فى رطوبة ٣٠٪. انخفض إلى ٢١٪ فى رطوبة ٧٠٪. أما الصنف المتحمل فلم يحدث به أى نقص فى النمو فى رطوبة ٣٠٪، بينما كان النقص قليلاً فى

رطوبة ٧٠٪. وقد كان ذلك مصاحبًا بنقص عام فى الكتلة البيولوجية فى الصنف دانيلا فى رطوبة ٧٠٪، مقارنة بالكتلة البيولوجية فى ٣٠٪ رطوبة نسبية. ويعتقد أن التأثير الإيجابى للرطوبة العالية على تحمل الصنف الحساس للملوحة العالية كان مرده إلى ما صاحب زيادة الرطوبة من زيادة فى كل من مساحة الورقة، والنمو الجذرى، ومعدل البناء الضوئى، وتوصيل الثغور، ومن نقص فى تركيز أيون الكلور فى الأوراق (An وآخرون ٢٠٠٥).

٥- تفضل الزراعة بالشتل عن الزراعة بالبذرة؛ لأن الشتلات أكثر تحملاً للملوحة من البذور.

٦- تفضل زراعة المحاصيل الأكثر تحملاً للملوحة.

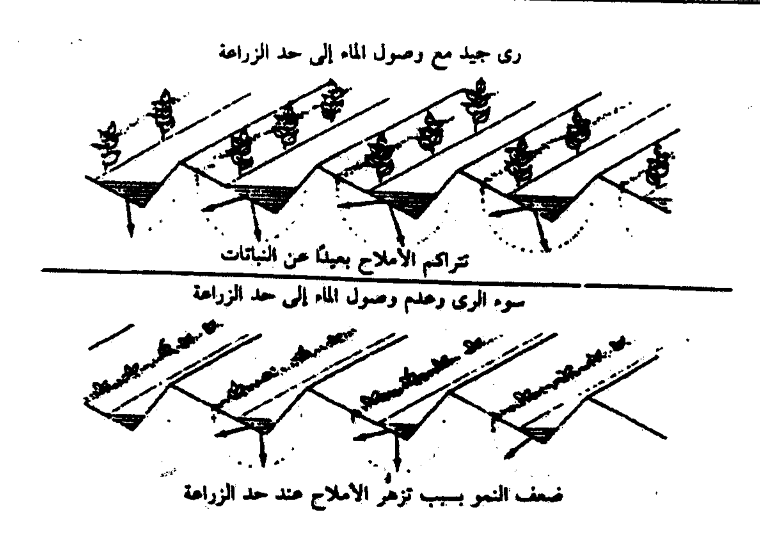
٧- يحسن اتباع طريقة الرى بالتنقيط؛ لأنها تعمل على تجميع الأملاح بعيدًا من النباتات، على أن تغسل التربة من الأملاح المتراكمة قبل زراعة المحصول التالى (الإدارة العامة للتدريب — وزارة الزراعة ١٩٨٣).

٨- اتباع طريقة الرى السطحى بالغمر مع الزراعة بأى من الطرق التالية:

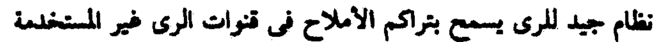
أ- على خطوط عالية، على أن تكون الزراعة فى النصف السفلى من ميل الخطوط، وأن يصل ماء الرى — عبر قنوات الخطوط — إلى حد الزراعة؛ ليكون تزهُّر الأملاح بعيدًا عن النباتات (شكل ١٢-٣).

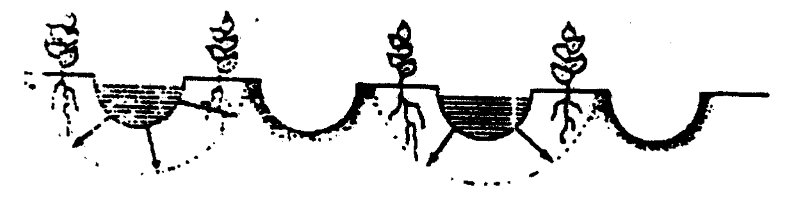
ب- فى خطوط مفردة فى منتصف مصاطب عريضة، مع تنظيم الرى بحيث تتزهر الأملاح بعيدًا عن النباتات (شكل ١٢-٤).

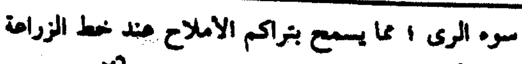
ج- فى خطوط مزدوجة على جانبى مصاطب عريضة، مع تنظيم الرى بحيث يحدث تزهُّر الأملاح فى منتصف المصاطب بعيدًا عن النباتات (شكل ١٢-٥) (عن Mayberry ١٩٨٣).



شكل (١٢-٣): تزهُّر الأملاح بعيدًا عن حد الزراعة عندما تكون الزراعة على خطوط، ويكون الرى منتظمًا.

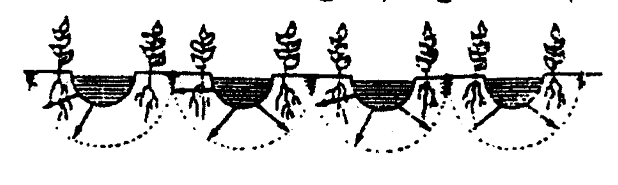


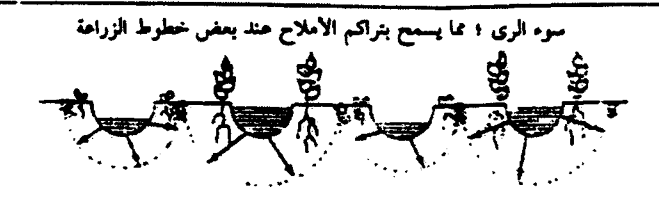






شكل (١٢-٤): تزهُّر الأملاح بعيدًا عن النباتات عندما تكون الزراعة فى منتصف مصاطب عريضة، ويكون الرى منتظمًا.





شكل (١٢-٥): تزهُّر الأملاح بعيدًا عن النباتات عندما تكون الزراعة فى خطوط مزدوجة على جانبى مصاطب عريضة، ويكون الرى منتظمًا.

٩- التخلص من الملوحة بزراعة *S. soda* كنبات مرافق:

دُرس تأثير زراعة النبات المُخَلِّص من الملوحة (desalinating plant): *Salsola soda* مرافقًا للفلفل تحت ظروف EC متوسطة، وعالية (٤,٠، و٧,٨ ديسى سيمنز/م، على التوالى) على نمو ومحصول الفلفل. وقد تبين أن تواجد *S. soda* أنقص درجة التوصيل الكهربائى لبيئة الزراعة بمقدار ٤٥٪، وأدى إلى زيادة المحصول الكلى، والمحصول الصالح للتسويق، والكتلة البيولوجية الكلية للفلفل بمقدار ٢٦٪، و٣٢٪، و٢٢٪، على التوالى؛ بما يعنى أن زراعة *S. soda* كمحصول مرافق companion plant فى ظروف الملوحة المعتدلة يمكن أن يحد من نقص المحصول الذى تحدثه الملوحة (Colla وآخرون ٢٠٠٦).

المعاملات الكيميائية

أجريت محاولات لتحسين إنبات البذور فى الأراضى الملحية بتعريضها لمعاملات خاصة قبل زراعتها؛ ومن أمثلة ذلك ما يلى:

١-وجد Bano وآخرون (١٩٨٧) أن نقع بذور الطماطم فى محلول كلوريد الكولين Choline Chloride (وهو منظم النمو Chlormequat) بتركيز ٢ مللى مول أدى إلى تحسين إنباتها بعد ذلك فى أطباق بترى تحتوى على محلول Hoagland & Arnon المغذى مضافًا إليه كلوريد الصوديوم بتركيزات وصلت إلى ٥٠,٠ مللى مكافئ/لتر.

٢-وجد Wiebe & Muhyaddin (١٩٨٧) أن نقع بذور الطماطم لمدة ٨ أيام فى محلول مهوى من البوليثيلين جليكول ٤٠٠٠ (PEG 4000) بتركيزات ١٢ بارًا على ١٦ °م أدى إلى تحسين إنباتها عند زراعتها بعد ذلك فى تربة طميية رملية تحتوى على تركيزات تتراوح بين صفر و ٨ جم من كلوريد الصوديوم، وكبريتات المغنيسيوم/كجم من التربة.

٣-تفيد دراسات Cano وآخرين (١٩٩١) إمكانية زيادة قدرة نباتات الطماطم على تحمل الملوحة بنقع البذور فى محاليل ملحية من كلوريد الصوديوم قبل الزراعة؛ حيث تحدث تغيرات فسيولوجية فى الجنين تزيد من مقاومته لأضرار الملوحة.

٤-كما تفيد بعض الدراسات إمكانية استعمال منظمات النمو: AMO-1618، وPhosfon، وCCC لزيادة القدرة على تحمل الملوحة فى بعض النباتات؛ مثل: القمح، والسبانخ، وفول الصويا؛ حيث أفادت معاملة البذور — بها — فى بعض الحالات.

٥-كما وجد أن بعض المركبات الطبيعية — مثل الكولين، والبيتين betaine — تعمل كمواد حامية من البلزمة osmo-protectants للبكتيريا *Escherichia coli* (عن Hale & Orcutt ١٩٨٧)، وربما يمكن تطوير هذا الاكتشاف ليُستفاد منه فى النباتات الراقية.

٦- المعاملة بالمنتج التجارى سُلتراد فى الأراضى الملحية والملحية الصودية:

يحتوى المنتج التجارى سُلتراد Saltrad على ٦,٨٪ أكسيد كالسيوم مخلبى، و٤,٨٪ كبريت، و٩٪ أحماض عضوية. يُستخدم هذا المركب فى معاملة مشاكل الأراضى الملحية والصودية، وذلك بمعدل ٣٠- ٧٥ لتر/هكتار (١٢,٦ — ٣١,٥ لتر/ فدان) حسب نسبة الصوديوم المتبادل بالتربة ويوصى بتجزئ هذه الكمية على ٤- ٥ دفعات، مع

المعاملة بها عن طريق ماء الرى بالتنقيط. هذا مع العلم بأن كل مكون من مكونات المنتج يحفز تأثير المكونات الأخرى (Tradecorp — إسبانيا).

التطعيم

تتضمن آليات تحمل الملوحة فى النباتات المطعومة، ما يلى:

١- وجود خصائص للمجموع الجذرى للأصل تلعب دورًا نشطًا فى امتصاص الماء والأيونات، مثل طول وكثافة النمو الجذرى وعدد الشعيرات الجذرية وطولها؛ ومن ثم مساحتها السطحية.

٢- الآليات الفسيولوجية والبيوكيميائة، والتى تتضمن:

أ- استبعاد الأيونات من النمو الخضرى والاحتفاظ بأيونات الأملاح بالجذور.

ب- المحافظة على تركيز مناسب لأيون البوتاسيوم.

ج- تراكم المحاليل والمركبات الأسموزية المتوافقة.

د- حث توليد نشاط مضاد للأكسدة.

هـ- حث تغيرات فى النمو بفعل الهرمونات التى تتكون نتيجة للتطعيم؛ مثل حامض الأبسيسك الذى يلعب دورًا أساسيًّا فى الإرسال بالإشارات بين الجذور والنموات الخضرية وبين الخلايا فى ظروف الشدّ الملحى، وكذلك فى تنظيم توصيل الثغور. كذلك تلعب السيتوكينينات — التى يتم تمثيلها فى الجذور وتنتقل للنموات الخضرية من خلال نسيج الخشب — دورًا فى عديد من العمليات الحيوية، وخاصة فى تنظيم شيخوخة الأوراق. وتشترك متعددات الأمين فى تنظيم عديد من العمليات الخلوية ونشاط الإنزيمات وسلامة الأغشية الخلوية وثباتها (Colla وآخرون ٢٠١٠).

٣- حث تمثيل إنزيمات مضادة للأكسدة فى الخضر المطعومة تلعب دورًا فى تحمل الملوحة (جدول (١٢-١).

جدول (١٢-١): الإنزيمات المضادة للأكسدة كدلائل على تحمل الملوحة فى الخضر المطعومة (عن Colla وآخرين ٢٠١٠).

الطعم	الأصل	الإنزيمات المضادة للأكسدة[أ]
الخيار	*Cucurbita maxima × C. moschata*	SOD, POD, CAT, APX
	Cucurbita ficifolia	SOD, Cu/Zn-SOD, POD, Mn-SOD
	Cucurbita moschata	SOD, POD, CAT
البطيخ	*Cucurbita maxima × C. moschata*	SOD
	Lagenaria siceraria	SOD, POD, CAT
الطماطم	*Solanum lycopersicun*	SOD, POD, APX, AsA, CAT, DHAR, GR
الباذنجان	*Solanum torvum*	SOD, POD, APX, GR CAT, AsA, GSH

أ- الإنزيمات:

SOD = superoxide dismutase

CAT = catalase

POD = peroxidase

APX = ascorbate peroxidase

DHAR = dehydroascorbate reductase

GR = glutathione reductase

AsA = ascorbate (الصورة المختزلة)

GSH = glutathione (الصورة المختزلة)

زراعة الأنواع والأصناف المتحملة للملوحة

معادلة تقدير القدرة على تحمل الملوحة

أمكن التوصل إلى المعادلة التالية لتقدير القدرة على تحمل الملوحة:

$$Y_r - 1/\left[1+(c/c_{50})^3\right]$$

حيث إن:

Y_r = المحصول النسبى.

c = متوسط تركيز الأملاح فى منطقة نمو الجذور.

C_{50} = متوسط تركيز الأملاح فى منطقة نمو الجذور التى يحدث معها انخفاض فى المحصول قدره ٥٠٪ (Van Genuchten & Gupta ١٩٩٣).

تقسيم الخضر حسب تحملها للملوحة

تتفاوت محاصيل الخضر كثيرًا فى مدى حساسيتها أو تحملها لشدّ الملوحة، ويتضح ذلك من جدول (١٢-٢) الذى يبين التحمل النسبى لمحاصيل الخضر، وذلك مقارنة بالتحمل النسبى لمحاصيل الفاكهة (جدول ١٢-٣)، والمحاصيل الحقلية (جدول ١٢-٤)، وكذلك التحمل النسبى لمحاصيل الخضر والمحاصيل الحقلية للكلوريد (جدول ١٢-٥) (Mass ١٩٨٤، وUSDA ٢٠٠٧). هذا علمًا بأن القيم المبينة فى تلك الجداول هى للاسترشاد بها فقط، أما القيم الفعلية لتحمل الملوحة.. فإنها تتوقف على الظروف الجوية، والعوامل الأرضية، والمعاملات الزراعية التى يعطاها المحصول.

جدول (١٢-٢): التحمل النسبى لمحاصيل الخضر للملوحة.

المحصول	قيمة الـ EC الحرجة التى يتأثر المحصول سلبًا بزيادة الملوحة عنها (دسى سيمنز/سم)[أ]	النقص فى المحصول مع كل زيادة قدرها وحدة EC ٪	مستوى التحمل
الخرشوف	–	–	متوسط التحمل
الأسبرجس	٤,١	٢,٠	متحمل
الفاصوليا (الخضراء والجافة)	١,٠	١٩,٠	حساسة
فاصوليا المنج	١,٨	٢٠,٧	حساسة
بنجر المائدة [ب]	٤,٠	٩,٠	متوسط التحمل
البروكولى	٢,٨	٩,٢	متوسط الحساسية
كرنب بروكسل	–	–	متوسط الحساسية
الكرنب	١,٨	٩,٧	متوسط الحساسية
الجزر	١,٠	١٤,٠	حساس

يتبع

تابع جدول (١٢-٢).

المحصول	قيمة الـ EC الحرجة التى يتأثر المحصول سلبًا بزيادة الملوحة عنها (دسى سيمنز/سم)(أ)	النقص فى المحصول مع كل زيادة قدرها وحدة EC ٪	مستوى التحمل
القنبيط	–	–	متوسط الحساسية
الكرفس	١,٨	٦,٢	متوسط الحساسية
الذرة السكرية	١,٧	١٢,٠	متوسط الحساسية
الخيار	٢,٥	١٣,٠	متوسط الحساسية
الباذنجان	١,١	٦,٩	متوسط الحساسية
الكيل	–	–	متوسط الحساسية
كرنب أبو ركبة	–	–	متوسط الحساسية
الخس	١,٣	١٣,٠	متوسط الحساسية
الكنتالوب	–	–	متوسط الحساسية
البامية	–	–	حساسة
البصل	١,٢	١٦,٠	حساس
الجزر الأبيض	–	–	حساس
البسلة	–	–	حساسة
الفلفل	١,٥	١٤,٠	متوسط الحساسية
البطاطس	١,٧	١٢,٠	متوسط الحساسية
القرع العسلى	–	–	متوسط الحساسية
الفجل	١,٢	١٣,٠	متوسط الحساسية
السبانخ	٢,٠	٧,٦	متوسطة الحساسية
الكوسة الاسكالوب	٣,٢	١٦,٠	متوسطة الحساسية
الكوسة الزوكينى	٤,٧	٩,٤	متوسطة التحمل
الفراولة	١,٠	٣٣	حساسة
البطاطا	١,٥	١١	متوسطة الحساسية
الطماطم	٢,٥	٩,٩	متوسطة الحساسية
الطماطم الشيرى	١,٧	٩,١	متوسطة الحساسية
اللفت	٠,٩	٩	متوسطة الحساسية
البطيخ	–	–	متوسطة الحساسية
الطرطوفة	٤,٠	٩,٦	متوسطة الحساسية
اللوبيا	٤,٩	١٢,٠	متوسطة التحمل

أ- كل وحدة EC = ٦٤٠ جزءًا فى المليون من الأملاح.

ب- أقل تحملاً للملوحة أثناء إنبات البذور ونمو البادرات.

جدول (١٢-٣): التحمل النسبى لبعض محاصيل الفاكهة للملوحة للمقارنة مع محاصيل الخضر.

المحصول (أ)	قيمة الـ EC الحرجة التى يتأثر المحصول سلبًا بزيادة الملوحة عنها (ديسى سيمنز/سم) (ب)	النقص فى المحصول مع كل زيادة قدرها وحدة EC (٪)	مستوى التحمل
اللوز	١,٥	١٩,٠	حساس
التفاح	–	–	حساس
المشمش	١,٦	٢٤,٠	حساس
الأفوكادو	–	–	حساس
نخيل البلح	٤,٠	٣,٦	متحمل
التين	–	–	متوسط التحمل
العنب	١,٥	٩,٦	متوسط الحساسية
الجريب فروت	١,٨	١٦	حساس
الجوايال	١٥,٠	١٣	متحمل
الجوجوبا (الهوهوبا)	–	–	متحمل
الليمون الأضاليا	–	–	حساس
الليمون البنزهير	–	–	حساس
المانجو	–	–	حساسة
الزيتون	–	–	متوسط التحمل
البرتقال	١,٧	١٦,٠	حساس
الباباظ	–	–	متوسط التحمل
الخوخ	١,٧	٢١,٠	حساس
الكمثرى	–	–	حساسة
البرسيمون	–	–	حساس
الأناناس	–	–	متوسط التحمل
البرقوق	١,٥	١٨,٠	حساس
الرمان	–	–	متوسط التحمل
السابوتة	–	–	حساسة
التانجرين (واليوسفى)	–	–	حساس

أ- قيَم تحمل الملوحة على أساس النمو النباتى وليس المحصول.

ب- كل وحدة EC = ٦٤٠ جزءًا فى المليون من الأملاح.

جدول (١٢-٤): التحمل النسبي لبعض المحاصيل الحقلية للملوحة للمقارنة مع محاصيل الخضر.

المحصول	قيمة الـ EC الحرجة التي يتأثر المحصول سلبًا بزيادة الملوحة عنها (ديسي سيمنز/سم)[أ]	النقص في المحصول مع كل زيادة قدرها وحدة EC (٪)	مستوى التحمل
الشعير[ب]	٨,٠	٥,٠	متحمل
الفول الرومي والبلدي	١,٦	٩,٦	متوسط الحساسية
الذرة الشامية	١,٧	١٢,٠	متوسط الحساسية
القطن	٧,٧	٥,٢	متحمل
الكتان	١,٧	١٢,٠	متوسط الحساسية
التيل	٨,١	–	متوسط التحمل
الشوفان oats	–	–	متوسط التحمل
الفول السوداني	٣,٢	٢٩,٠	متوسط الحساسية
الأرز	٣,٠	١٢,٠	حساس
الجاودار (الراى) rye	١١,٤	١٠,٨	متحمل
القرطم	–	–	متوسط التحمل
السمسم	–	–	حساس
السورجم	٦,٨	١٦,٠	متوسط التحمل
فول الصويا	٥,٠	٢٠,٠	متوسط التحمل
بنجر السكر[ب]	٧,٠	٥,٩	متحمل
قصب السكر	١,٧	٥,٩	متوسط الحساسية
دوار الشمس	–	–	متوسط الحساسية
التركيل triticale	٦,١	٢,٥	متحمل
القمح[ب]	٦,٠	٧,١	متوسط التحمل
لفت الزيت	–	–	متوسط التحمل
البرسيم الحجازى	٢,٠	٧,٣	متوسط الحساسية
حشيشة برمودا	٦,٩	٦,٤	متحملة
البرسيم المصرى	١,٥	٥,٧	متوسط الحساسية
لوبيا العلف	٢,٥	١١,٠	متوسط الحساسية

أ- كل وحدة EC = ٦٤٠ جزءًا في المليون.

ب- أقل تحملاً للملوحة أثناء إنبات البذور ونمو البادرات.

جدول (١٢-٥): التحمل النسبي لبعض المحاصيل الزراعية (محاصيل خضر ومحاصيل حقلية للكلوريد.

المحصول	قيمة تركيز الكلوريد الحرجة التي يتأثر المحصول سلبًا بزيادة الكلوريد عنه (مول/م٣)	النقص في المحصول مع كل زيادة قدرها مول واحد / م٣ (٪)
الفراولة	١٠	٣,٣
الفاصوليا	١٠	١,٩
البصل	١٠	١,٦
الجزر	١٠	١,٤
الفجل	١٠	١,٣
الخس	١٠	١,٣
اللفت	١٠	٠,٩
الأرز	٣٠	١,٢
الفلفل	١٥	١,٤
الذرة الشامية	١٥	١,٢
الكتان	١٥	١,٢
البطاطس	١٥	١,٢
البطاطا	١٥	١,١
الفول الرومي والبلدى	١٥	١,٠
الكرنب	١٥	١,٠
الكرفس	١٥	٠,٦
البرسيم المصرى	١٥	٠,٦
قصب السكر	١٥	٠,٦
السبانخ	٢٠	٠,٨
البرسيم الحجازى	٢٠	٠,٧
الخيار	٢٥	١,٣
الطماطم	٢٥	١,٠
البروكولى	٢٥	٠,٩

يتبع

تابع جدول (١٢-٥)

المحصول	قيمة تركيز الكلورين الحرجة التى يتأثر المحصول سلبًا بزيادة الكلورين عنه (مول/م٣)	النقص فى المحصول مع كل زيادة قدرها مول واحد/م٣ (٪)
الكوسة الاسكالوب	٣٠	١,٦
حشيشة السودان	٣٠	٠,٤
بنجر المائدة	٤٠	٠,٩
الكوسة الزوكينى	٤٥	٠,٩
اللوبيا	٥٠	١,٢
القمح	٦٠	٠,٧
السورجم	٧٠	١,٦
حشيشة برمودا	٧٠	٠,٦
بنجر السكر	٧٠	٠,٦
القطن	٧٥	٠,٥
الشعير	٨٠	٠,٥

ويعطى جدول (١٢-٦) بيانات أكثر تفصيلاً عن درجات التوصيل الكهربائى لكل من ماء الرى EC_w ومستخلص التربة المشبع EC_e التى لا يحدث عندها أى نقص فى المحصول، وتلك التى يحدث عندها نقص فى المحصول قدره ١٠٪، و٢٥٪، و٥٠٪ لمختلف محاصيل الخضر، مع بيان احتياجات الغسيل Leaching Requirements (اختصارًا LR) اللازمة فى كل حالة، وهو نسبة ماء الرى التى يلزم تسربها خلال طبقة التربة التى تشغلها الجذور؛ ليمكن التحكم فى الملوحة عند المستوى المحدد (عن Soil Improv. Comm., Calif. Fertiliz. Assoc. ١٩٨٠).

وقد وضعت تقديرات EC_e فى جدول (١٢-٦) على أساس أنها تصل — فى طبقة التربة التى تشغلها الجذور — إلى نحو ١٥٠٪ من قيمة EC_w للمياه المستخدمة فى الرى.

جدول (١٢-٦): درجات التوصيل الكهربائى (mS/cm) لكل من ماء الرى (Ec_w) ومستخلص التربة المشبع (EC_e) – عند ٢٥ °م – التى لا يحدث عندها أى نقص فى المحصول، وتلك التى يحدث عندها نقص قدره ١٠٪، و٢٥٪، و٥٠٪ لمختلف محاصيل الخضر، ونسبة التسرب الرطوبى (LR) اللازم فى كل حالة؛ ليمكن التحكم فى الملوحة عند المستوى المحدد

المحصول	عدم حدوث نقص فى المحصول			١٠٪ نقصًا فى المحصول			٢٥٪ نقصًا فى المحصول			٥٠٪ نقصًا فى المحصول		
	LR	EC_w	EC_e	LR	EC_w	EC_e	LR	EC_w	EC_e	LR	EC_w	EC_e
البنجر	٩	٢,٧	٤,٠	١١	٣,٤	٥,١	١٥	٤,٥	٦,٨	٢١	٦,٤	٩,٦
البروكولى	٧	١,٩	٢,٨	١٠	٢,٦	٣,٩	١٤	٣,٧	٥,٥	٢٠	٥,٥	٨,٢
الطماطم	٧	١,٧	٢,٥	٩	٢,٣	٣,٥	١٤	٣,٤	٥,٠	٢٠	٥,٠	٧,٦
الكنتالوب	٥	١,٥	٢,٢	٨	٢,٤	٣,٦	١٢	٣,٨	٥,٧	١٩	٦,٠	٩,١
الخيار	٨	١,٧	٢,٥	١١	٢,٢	٣,٣	١٤	٢,٩	٤,٤	٢١	٤,٢	٦,٣
السبانخ	٤	١,٣	٢,٠	٧	٢,٢	٣,٣	١٢	٣,٥	٥,٣	١٩	٥,٧	٨,٦
الكرنب	٥	١,٢	١,٨	٨	١,٩	٢,٨	١٢	٢,٩	٤,٤	١٩	٤,٦	٧,٠
البطاطس	٦	١,١	١,٧	٩	١,٧	٢,٥	١٣	٢,٥	٣,٨	٢٠	٣,٩	٥,٩
الذرة السكرية	٦	١,١	١,٧	٩	١,٧	٢,٥	١٣	٢,٥	٣,٨	٢٠	٣,٩	٥,٩
البطاطا	٥	١,٠	١,٥	٨	١,٦	٢,٤	١٢	٢,٥	٣,٨	١٩	٤,٠	٦,٠
الفلفل	٦	١,٠	١,٥	٩	١,٥	٢,٢	١٣	٢,٢	٣,٣	٢٠	٣,٤	٥,١
الخس	٥	٠,٩	١,٣	٨	١,٤	٢,١	١٢	٢,١	٣,٢	١٩	٣,٤	٥,٢
الفجل	٤	٠,٨	١,٢	٧	١,٣	٢,٠	١٢	٢,١	٣,١	١٩	٣,٤	٥,٠
البصل	٥	٠,٨	١,٢	٨	١,٢	١,٨	١٢	١,٨	٢,٨	١٩	٢,٩	٤,٣
الجزر	٤	٠,٧	١,٠	٧	١,١	١,٧	١٢	١,٩	٢,٨	١٩	٣,١	٤,٦
الفاصوليا	٥	٠,٧	١,٠	٨	١,٠	١,٥	١٢	١,٥	٢,٣	١٨	٢,٤	٣,٦
الفراولة	٩	٠,٧	١,٠	١١	٠,٩	١,٣	١٥	١,٢	١,٨	٢١	١,٧	٢,٥

هذا.. ويعطى Staples & Toennissen (١٩٨٤) شرحًا تفصيليًّا متقدمًا عن فسيولوجيا القدرة على تحمل الملوحة فى النباتات.

وسائل النباتات فى الحد من التأثير السام للأملاح

على الرغم من احتياج بعض النباتات للصوديوم – وخاصة تلك المحبة للملوحة halophytes – فإن التركيز العالى من كلوريد الصوديوم يعد سامًّا، ويؤثر فى النمو النباتى. ويرجع التغير فى نسب الأيونات فى النباتات إلى تدفق أيون الصوديوم من خلال المسارات التى تقوم – أصلاً – بوظيفة الحصول على أيون البوتاسيوم. وتتشابه حساسية إنزيمات السيتوبلازم للملح فى كل من النباتات المحبة للملوحة والنباتات العادية glycophytes؛ مما يدل على أن الحفاظ على نسبة عالية من تركيز الـ K^+/Na^+ يعد أمرًا أساسيًّا للنباتات فى الأراضى الملحية.

ومن بين الوسائل التى تلجأ إليها النباتات للمحافظة على نسبة عالية من تركيز الـ K^+/Na^+ فى السيتوبلازم، ما يلى:

١– إقصاء أيون الصوديوم خارج الخلية.

٢– تجميع أيونات الصوديوم فى الفجوات العصارية.

إن زيادة تركيز الأملاح فى المحلول الأرضى يقلل من جهده المائى (يزداد ضغطه الأسموزى)، ويتعين – حينئذٍ – خفض الجهد المائى بالنبات لما يساوى حوالى ٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم. ويتحقق ذلك بتعديل الماء النباتى ومحتواه من المواد الذائبة. فمثلاً.. عندما تغمر جذور النباتات بماء البحر فإنها تتجاوب مع هذا الجهد المائى المنخفض بتراكم تركيزات عالية (أكثر من ٥٠٠ مللى مول) من الصوديوم والكلورين فى خلاياها. هذا.. إلا أن نفس هذه الأملاح الضرورية للتعديل الأسموزى تكون سامة، ويتعين فصلها عن آليات الأيض بالخلايا. ويتحقق ذلك بتحديد تواجدها فى أماكن محددة من الخلية لا يحدث معها ضرر (compartmentation)؛ حيث تأخذ العمليات الأيضية الحساسة للأملاح مجراها فى السيتوبلازم، بينما يخزن الملح الضرورى للتعديل الأسموزى فى الفجوات العصارية (Flowers & Flowers ٢٠٠٥).

وبصورة عامة.. تستجيب النباتات للملوحة العالية بطرق مختلفة؛ كما يلى:

١-تحد النباتات الحساسية للملوحة من امتصاص الملح وتعدل ضغطها الأسموزى بتمثيل المواد الذائبة المتوافقة (مثل البرولين والجليسين بيتين والسكريات).

٢-تقوم النباتات المتحملة للملوحة بعزل الأملاح وتجميعها فى الفجوات العصارية؛ وبذا فإنها تتحكم فى تركيز الملح بالسيتوبلازم، وتحافظ على نسبة عالية من K^+/Na^+ بالسيتوبلازم.

وقد يوفر استبعاد الأيونات درجة من التحمل فى التركيزات المنخفضة نسبيًا من كلوريد الصوديوم، ولكنه لا يفيد فى التركيزات العالية من الملح؛ مما يؤدى إلى تثبيط عمليات الأيض الرئيسية؛ ومن ثم تثبيط النمو (Yamaguchi & Blumwald ٢٠٠٥).

إن التعديل الأسموزى يأخذ مجراه فى السيتوبلازم بما يعرف بالمركبات الذائبة المتوافقة compatible solutes، وهى مركبات عضوية — مثل الجليسين بيتين والمانيتول، والبرولين — لا تضر الأيض وإنما قد تفيده. وتتطلب عملية الـ compartmentation أن تمتلك النباتات المتحملة للملوحة آلية تمكنها من المحافظة على فرق فى تركيز الأيونات عبر الغشاء البلازمى المحيط بالفجوات العصارية. وتعتمد هذه الآلية على تركيب الغشاء وعلى البروتينات التى تنقل الأيونات عبره.

إن الأيونات تدخل الخلايا النباتية عن طريق بروتينات تعد جزءًا أساسيًا من الأغشية الخلوية. ويمكن لهذه البروتينات أن تشكل قنوات channels تنتشر من خلالها الأيونات عبر تدرج جهد كهروكيميائى electrochemical potential gradient، أو أن تعمل كحوامل carriers، حيث يرتبط البروتين بأيون على أحد جانبى الغشاء البلازمى ويطلقه فى الجانب الآخر. وتتم كلتا العمليتين للبروتينات بمضخات أيونية ion pumps تعمل بالطاقة. تستخدم المضخات الطاقة المخزنة فى الـ ATP (وفى حالة الغشاء البلازمى للفجوات العصارية تستخدم الطاقة المخزنة فى كل من الـ ATP والـ pyrophosphate) فى

تحريك البروتونات عبر الغشاء، مولدة فرقًا في تركيز أيون الأيدروجين (الـ pH) وجهدًا كهربائيًّا (ΔE). ويكون الفرق في الجهد الكهربائي هو المسئول عن حركة الكاتيونات إلى الداخل من خلال القنوات، بينما يكون الفرق في تركيز أيون الأيدروجين هو المسئول عن حركة الأيونات عن طريق الحوامل، وهي التي يحدث فيها الالتحام بين البروتونات والأيونات (Flowers & Flowers ٢٠٠٥).

٣- حث وتنشيط الأنظمة الدفاعية المضادة للأكسدة:

ففي الكنتالوب.. تستجيب النباتات لشدّ الملوحة بزيادة أنظمة دفاعاتها الإنزيمية وغير الإنزيمية المضادة للأكسدة، وتظهر تلك الزيادات بوضوح أكبر في أصناف الكنتالوب الأكثر تحملاً للملوحة مثل: Galia C8، وGalia F1 عما في الأصناف المتوسطة التحمل مثل: Besni، وMidyat (Fikret وآخرون ٢٠٠٦).

طبيعة تحمل الملوحة في النباتات العادية المتحملة لها

إن من أهم آليات تحمل الملوحة في النباتات العادية (الـ glycophytes)، ما يلي:

اختيارية الأيونات Ion Selectivity

لقد أُرجعت الحساسية للملوحة في بعض الأنواع المحصولية إلى فشل النباتات في إبقاء أيونا الصوديوم والكلوريد بعيدًا عن مسار الماء المتحرك تحت تأثير النتح؛ ومن ثم سيتوبلازم النموات الخضرية. إن النباتات التي تحد من امتصاص الأيونات السامة وتحافظ على مستويات طبيعية من الأيونات المغذية يمكن أن تكون أكثر تحملاً للملوحة عن تلك التي لا تحد من تراكم الأيونات والتي تفتقد التوازن الأيوني. ويمكن لآليات امتصاص الأيونات الاختياري القادرة على التمييز بين الأيونات المتشابهة كيميائيًّا مثل أيوني الصوديوم والبوتاسيوم أن تُسهم في تحمل الملوحة. وتُعد التربية لهذا الغرض من أبسط الطرق لتحسين تحمل الملوحة في الأصناف الحساسة (Shannon ١٩٩٧).

إن قدرة النبات على المحافظة على نسبة عالية من البوتاسيوم إلى الصوديوم

(K^+/Na^+) فى السيتوبلازم لهى أمر على درجة عالية من الأهمية فى تحمله للملوحة. ولقد استهدفت جهود مربى النبات تحسين تلك النسبة من خلال الحد من امتصاص الصوديوم Na^+ وانتقاله إلى النموات الخضرية (Shabala وآخرون ٢٠٠٨).

وقد وجد ارتباط قوى جدًّا فى الشعير بين قدرة النباتات على الاحتفاظ بتركيز عالٍ من البوتاسيوم ضد التسرب — تحت ظروف الملوحة — وتحملها للملوحة.

هذا.. علمًا بأن نسبة البوتاسيوم K^+ إلى الصوديوم Na^+ تنخفض بشدة تحت ظروف الملوحة؛ نتيجة لكل من التجمع الزائد للصوديوم فى السيتوبلازم، والزيادة فى تسرب البوتاسيوم من الخلايا. ويحدث التسرب بفعل ما يحدثه كلوريد الصوديوم من depolarization بالأغشية البلازمية تحت ظروف الملوحة (Chen وآخرون ٢٠٠٥).

ونجد أن معظم الأنواع المحصولية تحد من امتصاص الملح ووصوله إلى مسار تيار ماء النتح -- إلى حد ما — من خلال تحديد تواجده فى الفجوات العصارية، وربما يمكن لبعض الأنواع التخلص من الأيونات من خلال الغدد الملحية، أو بتخزين الملح فى الجذور أو الأوراق أو أعناق الأوراق أو السيقان. وما لم يستمر النبات فى النمو بحيث لا تمتلئ أماكن تخزين الأملاح بالأملاح، فإن الأملاح تتسرب منها وتؤثر فى الأنسجة الحساسة؛ مما يؤثر فى الحالة العامة للنبات.

الحد من تراكم الأيونات

إن الحد من تراكم الأيونات فى الجذور والسيقان يُعد أحد أكثر آليات تحمل الملوحة شيوعًا فى النباتات.

وعلى الرغم من حساسية جميع أصناف الفاصوليا للملوحة العالية، إلا أنه توجد اختلافات بين الأصناف فى شدة تلك الحساسية، وتعتمد خاصية التحمل للملوحة فى الأصناف الأكثر تحملاً على قدرة جذورها على تقييد انتقال الصوديوم الممتص من الجذور إلى النموات الخضرية، حيث يبقى تركيز الصوديوم فى النموات الخضرية منخفضًا.

وتجدر الإشارة إلى أن إضافة كلوريد الصوديوم إلى المحاليل المغذية للفاصوليا أحدثت زيادة فى تركيز البوتاسيوم والكالسيوم فى النبات، وفى انتقال البوتاسيوم من الجذور إلى النموات القمية، وانتقال الكالسيوم من السيقان وأعناق الأوراق إلى الوريقات، والمغنيسيوم من الجذور إلى الوريقات (Yamanouchi وآخرون ١٩٩٧).

التنظيم الأسموزى

نجد أن معظم النباتات الثنائية الفلقة المحبة للملوحة halophytes عصيرية succulent، ويتراكم فى فجواتها العصيرية تركيزات عالية من أيونى الصوديوم والكلور. كما يكون تركيز هذين الأيونين فى سيتوبلازم هذه النباتات أعلى مما فى النباتات العادية (القليلة أو المتوسطة التحمل للملوحة mesophytes).

ويفيد التعديل الأسموزى Osmotic Adjustment، الذى يحدث خفضًا فى جهد الضغط الأسموزى النباتى من خلال إحداث زيادة فى محتواه من المواد الذائبة (أو إحداث خفض فى محتواه من الرطوبة) – استجابة لانخفاض فى الجهد المائى الخارجى – يفيد فى استمرار المحافظة على امتلاء الخلايا. ويؤدى ضعف القدرة على التعديل الأسموزى إلى فقد امتلاء الخلايا وانغلاق الثغور؛ الذى يتبعه نقص فى تبادل الغازات وضعف البناء الضوئى، كما يكون لفقد امتلاء الخلايا تأثيرات ضارة على انقسام الخلايا واستطالتها.

ولكى تحقق تلك النباتات توازنًا أسموزيًّا Osmoregulation بين الفجوات والسيتوبلازم.. يتراكم بسيتوبلازم خلاياها تركيزات عالية جدًّا من المركبات العضوية المتوافقة الذائبة compatible osmolytes عند تعرضها للشدِّ الملحى (أو الجفافى)، والتى من أهمها ما يلى:

١- المركبات الكربوهيدراتية:

السكروز – السوربيتول sorbitol – المانيتول manitol – الجليسرول glycerol – الأرابينيتول arabinitol – البينيتول pinitol – مركبات polyols أخرى.

٢- المركبات النيتروجينية :

البروتينات – البرولين – البيتين betaine – حامض الجلوتامك – حامض الأسبارتك – الجليسين – الجليسين بيتين glycine betaine – الكولين choline – البوتريسين putrescine.

٣- الأحماض العضوية :

حامض الأوكساليك – حامض الماليك (Sairam & Tyagi ٢٠٠٤). علمًا بأن الأحماض العضوية ذات الشحنة السالبة تعمل على إحداث توازن مع أيونات الصوديوم المتراكمة ذات الشحنة الموجبة.

ومن المعلوم أن نشاط عديد من الإنزيمات يتأثر سلبيًا بالمركبات الذائبة غير العضوية، بينما يكون ضرر المركبات العضوية الذائبة معدومًا أو قليلاً فى التركيزات العالية.

وبالرغم من الدراسات العديدة التى أجريت على موضوع التنظيم الأسموزى فى النباتات، فإنه لا يوجد اتفاق بين الباحثين لا على دوره، ولا على أهميته.. حتى لقد ذكر البعض منهم أن تراكم البرولين والجليسين بيتين يكون مصاحبًا بزيادة القدرة على تحمل الملوحة فى بعض الأنواع النباتية، إلا أن ذلك الأمر لا يحدث فى كل الحالات. كذلك ذكر البعض أن تراكم الجليسين بيتين فى النباتات يساعدها على زيادة تحملها للملوحة، ولكن ذلك التراكم ليس شرطًا لا غنى عنه لتحمل الملوحة فى النباتات الراقية.

كما أن دور البرولين فى التنظيم الأسموزى فى النباتات موضع جدل. فالبرولين يتراكم فعلاً فى النباتات التى تتعرض لظروف قاسية (وخاصة نقص الرطوبة الأرضية)، ولكن يبدو أن ذلك يحدث كاستجابة لصدمة أسموزية شديدة، أو – ربما – لسمّية الأملاح.

ومن المعلوم أن المركبات النيتروجينية – مثل البرولين – تنظم بكفاءة عالية عملية تخزين النيتروجين الضرورى للنبات. ويعد البرولين مناسبًا لتحقيق هذا الهدف؛ لأنه

نشط أسموزيًّا، ومتوافق مع مكونات السيتوبلازم، ويمكن أن يتحول بسهولة إلى حامض الجلوتامك، وهو حامض أمينى مركزى فى عملية تنظيم تمثيل الأحماض الأمينية الأساسية الأخرى. وبذا.. فإن النبات المعرض للملوحة يمكنه استخدام البرولين كمخزون نيتروجينى، وفى التنظيم الأسموزى (عن Rains ١٩٨١).

ومن النباتات التى يتراكم فيها البرولين بكثرة فى ظروف الملوحة العالية كل من *Triglochin maritima*، و*Puccinellia maritima*، وكثير من الطحالب والبكتيريا.

إن قائمة المركبات العضوية الذائبة فى السيتوبلازم cytosolutes — فى النباتات الراقية — فى ازدياد مستمر، وتتضمن كحولات السكر sugar alcohols، والأحماض الأمينية الـ dipolar، ومشتقاتها. ومن الأمثلة الهامة لذلك مركب dimethylsulphonopropionate الذى يشيع وجوده فى الطحالب البحرية. وتوجد المركبات الـ Sulphonic فى النباتات الراقية، مثل: *Wedelia biflora*، و*Ulva lactuca* اللذين يتغير تركيز المركب فيهما بتغير تركيز الأملاح فى وسط نموهما.

ويبدو أنه توجد علاقة قوية بين نوع المركبات العضوية الذائبة التى تتراكم فى السيتوبلازم فى ظروف الملوحة العالية وبين الوضع التقسيمى، كما هو موضح فى جدول (١٢-٧) (عن Jones ١٩٨١).

جدول (١٢-٧): أمثلة لأنواع المركبات العضوية الذائبة فى السيتوبلازم فى بعض الأنواع النباتية.

المركب العضوى	العائلة	النوع النباتى
Glycinebetaine	Chenopodiaceae	*Suaeda monoica*
		Suaeda maritima
		Atriplex spongiosa
		Spinacea oleracea
		Beta vulgaris

يتبع

تابع جدول (١٢-٧)

النوع النباتى	العائلة	المركب العضوى
Spartina × townsendii	Graminae	
Doplochne fusa		
Puccinellia maritima	Graminae	Proline
Triglochina moritima		
Plantago maritima	Plantaginaceae	Sorbitol
Plantago capensis		
Medicago sativa	Leguminoseae	Prolinebetaine
Wedelia biflora	Compositae	Beta-dimethyl-sulphonio-propionate

كذلك تتراكم – فى السلالات التى تتحمل الملوحة – عند تعرضها لظروف الملوحة العالية – أنواع مختلفة من البروتينات – مثل البروتين 26k المسمى أوزموتين osmotin. وقد وجد Jain وآخرون (١٩٩٣) طرزًا محددة لتراكم البولى ببيتيدات Polypeptides تحت ظروف الملوحة، تختلف باختلاف السلالات المتحملة للملوحة. وبالرغم من عدم التوصل إلى حقيقة الدور الفسيولوجى الذى تلعبه هذه البروتينات على وجه التحديد.. إلا أنه يعتقد بأنها تسمح للنباتات بعمل التأقلمات الحيوية والبنائية التى تمكنه من التعامل مع مستويات الملوحة العالية.

زيادة كفاءة استخدام المياه

من الآليات الأخرى التى يمكنها منع فقد امتلاء الخلايا وزيادة كفاءة استخدام المياه زيادة مقاومة الأوراق (بوجود عدد أقل من الثغور، وزيادة مقاومة النسيج الوسطى، وزيادة سمك طبقة الأديم)، وزيادة نسبة الجذور إلى النموات الخضرية (Shannon ١٩٩٧).

ويتبين مما تقدم أن تحمل الملوحة يتوقف على مجموعة من الخصائص، هى:

١- مورفولوجى النبات.

٢- القدرة على تحديد تواجد الأملاح – التى تُعدِّل بها جهدها المائى – فى الفجوات العصارية.

٣–القدرة على إنتاج وتراكم المركبات العضوية الذائبة المتوافقة فى السيتوبلازم.

٤–القدرة على تنظيم النتح.

٥–خصائص الأغشية الخلوية.

٦–القدرة على تحمل تواجد نسبة عالية من الصوديوم إلى البوتاسيوم فى السيتوبلازم.

٧–وجود الغدد الملحية التى تمكنها من التخلص من الأملاح المتراكمة فيها (Flowers & Flowers ٢٠٠٥).

معاملات يوصى بها للتغلب على شد الملوحة فى محاصيل الخضر

خفض معدل التسميد الآزوتى وزيادة التسميد باليوريا

يُفضل عندما تكون الملوحة أعلى من المستوى الحرج لنباتات الفلفل (< ٢,٠ ديسى سيمنز/م) خفض معدل التسميد الآزوتى عما يوصى به فى غياب الشدّ الملحى (< ٢,٠ ديسى سيمنز/م)، لكن الملوحة يسود تأثيرها ولا يكون خفض معدل التسميد الآزوتى مؤثرًا عندما تصل الملوحة إلى ٦,٠ ديسى سيمنز/م (Semiz وآخرون ٢٠١٤).

وعند المستوى المثالى من التسميد بالنيتروجين فى الفلفل (٢٧٠ كجم N/هكتار، أو حوالى ١٣٣ كجم/فدان) أدت زيادة ملوحة مياه الرى (EC_{iw}) عن ٢,٠ ديسى سيمنز/م إلى نقص المحصول، بينما لم ينخفض المحصول عندما كان التسميد بالنيتروجين منخفضًا (١٣٥ كجم/ هكتار، أو نحو ٥٧ كجمN /فدان) إلاّ عندما زادت ملوحة ماء الرى (EC_{iw}) عن ٤,٠ ديسى سيمنز/م. وعندما كانت ملوحة ماء الرى ٦,٠ ديسى سيمنز/م غطّى تأثير الملوحة السلبى على المحصول على تأثير مستوى التسميد بالنيتروجين. ويعنى ذلك أنه عند زيادة الملوحة عن الحد الحرج للمحصول تقل الحاجة للتسميد بالنيتروجين عن المستوى المناسب الذى يُعطاه فى غياب شد الملوحة (Semiz وآخرون ٢٠١٤).

ولم تكن لزيادة تركيز النترات فى المحلول المغذى من صفر إلى ٥، أو ٢٠ مللى

مولا أى فاعلية فى الحد من التأثير الضار لزيادة أيون الكلور من ٥ إلى ٤٠، أو ٧٥، أو ١٠٠ مللى مولا. وقد أدت الملوحة العالية إلى زيادة تركيز السكريات فى الأوراق، بينما ازداد تراكم البرولين – بصفة أساسية – عندما زيد تركيز النترات فى المحلول المغذى (Heuer & Feigin ١٩٩٣).

وقد وجدت علاقة عكسية بين تركيز النترات والكلور فى النموات الخضرية لنباتات الطماطم المعاملة بتركيزات صفر، و٧٠، و١٤٠ مللى مولا من كلوريد الصوديوم، كما لم توجد أى علاقة بين محتوى الأوراق من البروتين وتحمل الصنف للملوحة. وقد حدثت زيادة أولية فى تركيز مختلف الأحماض الأمينية – وخاصة البرولين – فى الصنف المتحمل للملوحة – بعد ثلاثة أسابيع من المعاملة بالملوحة – ولكن تساوت جميع الأصناف فى تراكم البرولين فى أوراقها بعد ١٠ أسابيع من بدء معاملة الملوحة أيًا كان مستوى تحملها للملوحة (Pérez-Alfocea وآخرون ١٩٩٣).

وأدى التسميد باليوريا فى وجود شد أسموزى معتدل (٥٠) أو شديد (٧٥) مللى مول من المانيتول لمدة ١٥ يومًا إلى نمو نباتات الفاصوليا بصورة أفضل وتحملها للشد الأسموزى. وقد أُرجع ذلك إلى زيادة كفاءة استخدام النباتات المسمدة باليوريا للنيتروجين والتنظيم الأسموزى الجيد بها (Sassi-Aydi وآخرون ٢٠١٤).

زيادة التسميد البوتاسى

فى محاولة للتغلب على التأثير الضار للملوحة العالية فى المحاليل المغذية، مع الاحتفاظ بتأثيراتها المرغوبة على نوعية الثمار.. وجد Satti & Lobez (١٩٩٤) أن إضافة كلوريد الصوديوم بتركيز ٥٠ مللى مولا إلى محلول هوجلند المغذى أحدثت نقصًا جوهريًا فى كل من طول الساق، ووزن الثمرة، والوزن الجاف الكلى للنبات، ولكنها أحدثت زيادة فى عدد الثمار/ نبات، ومحتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية، بينما لم يؤثر هذا المستوى من الملوحة على عدد الأوراق، أو نسبة عقد الثمار، أو وزنها

الجاف. وعندما أضيفت نترات البوتاسيوم بتركيز ٤، و٨ و١٦ مللى مولا إلى محلول هوجلند المغذى الملحى المحتوى على كلوريد صوديوم بتركيز ٥٠ مللى مولا كانت نسبة الصوديوم إلى البوتاسيوم فى المحلول المغذى ١٢,٥، و٦,٣، و٣,١ على التوالى، ووجد الباحثان أن النسبتين العاليتين (١٢,٥، ٦,٣) أحدثتا زيادة معنوية فى طول الساق، ونسبة عقد الثمار، وعدد الثمار/نبات، ووزن الثمرة، والوزن الجاف الكلى للنبات، بينما أنقصت نسبة الصوديوم إلى البوتاسيوم المنخفضة (٣,١) الوزن الجاف للنبات بشدة مقارنة بمعاملة الشاهد. كما لم تتأثر نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية فى الثمار بإضافة البوتاسيوم إلى المحلول المغذى الملحى. ومن بين خمسة أصناف طماطم استعملت فى الدراسة كان الصنف مونت كارلو أكثرها استجابة لإضافة البوتاسيوم.

وفى دراسة أخرى قام Satti وآخرون (١٩٩٤) بزراعة الطماطم فى محاليل مغذية جُعِلتْ ملحية إما بإضافة كلوريد الصوديوم — منفردًا — بتركيز ٥٠ مللى مولا (EC = ٥,٥ مللى موز/سم)، وإما بإضافة كلوريد الصوديوم بالتركيز السابق مع نترات البوتاسيوم بتركيز ٢ مللى مولا (EC = ٦,٨ مللى موز/سم)، أو بتركيز ٢٠ مللى مولا (EC = ٧,٥ مللى موز/سم)، أو مع كل من نترات البوتاسيوم ونترات الكالسيوم (EC = ٨,٠ مللى موز/سم). وقد وُجِدَ أن إضافة البوتاسيوم والكالسيوم إلى المحلول المغذى الملحى أدت إلى زيادة تراكم البوتاسيوم فى النباتات بمقدار ٣ إلى ٧ أمثال التركيز فى النباتات النامية فى المحلول المغذى الملحى المضاف إليه كلوريد الصوديوم فقط (معاملة الشاهد). وقد أدت الملوحة العالية إلى نقص طول الساق ونمو الأوراق، إلا أن إضافة البوتاسيوم أدت إلى تحفيز النمو. كذلك أدت الملوحة العالية إلى نقص عدد الأزهار بنسبة ٤٤٪ والمحصول بنسبة ٧٨٪ مقارنة بمعاملة الشاهد. وقد أدت إضافة البوتاسيوم — وبدرجة أقل الكالسيوم — إلى تقليل الأضرار التى أحدثتها الملوحة العالية على نمو وتطور نباتات الطماطم.

وقد أدت زيادة تركيز البوتاسيوم فى المحلول المغذى للطماطم إلى ١٦ مللى مول K^+ إلى جعل النباتات أكثر قدرة على التعايش مع شدٍ ملحى بلغ ١٥٠ مللى مول NaCl (Fan وآخرون ٢٠١١).

كما أدت زيادة تركيز البوتاسيوم فى المحلول المغذى للفلفل من ٠,٢ إلى ٢,٠، و٧,٠، و ١٤ مللى مول K^+ - مع وجود تركيز ٣٠ مللى مول كلوريد صويدوم — إلى زيادة تحمل الفلفل للملوحة العالية؛ حيث ازداد الوزن الجاف لكل من الجذور والنموات الخضرية، وكان مرد ذلك إلى أن وجود البوتاسيوم بتركيز عالٍ أسهم فى زيادة المحتوى المائى للنباتات وفى زيادة نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم فيها (Rubio وآخرون ٢٠١٠).

وأحدث الشد الملحى (٢٥، و٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم) للفاصوليا خفضًا جوهريًا فى كل من عدد القرون/نبات، والوزن الطازج والجاف للقرون، والوزن الجاف للنمو الخضرى، وفى صبغات البناء الضوئى. وفى المقابل أدى توفير البوتاسيوم بمعدل ١٥٠ مجم K_2O/كجم تربة إلى التغلب على أضرار الملوحة العالية على محصول القرون وصبغات البناء الضوئى، كما أدت إلى زيادة تركيز البوتاسيوم ونشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة ونسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم (Dawood وآخرون ٢٠١٤).

وكانت نباتات الفراولة النامية فى شد ملحى (٣٥ مللى مول كلوريد صوديوم) وpH عالى (٨,٥) أقل إنتاجًا للمادة الجافة، وأقل محصولاً، وأقل احتواء على الكلوروفيل مما كان عليه الحال فى النباتات التى استخدم فى زراعتها محلول مغذٍ عادى. وقد أدت إضافة مزيد من البوتاسيوم (٣ مللى مول كبريتات بوتاسيوم) إلى المحلول المغذى إلى إحداث زيادة فى كل من إنتاج المادة الجافة وتركيز الكلوروفيل ومحصول الثمار. ولقد كان التأثير الضار للملوحة العالية على النمو النباتى أكثر وضوحًا من تأثير الـ pH المرتفع. وازدادت نفاذية الأغشية البلازمية بزيادة الملوحة إلى ٣٥ مللى مول كلوريد صوديوم وبزيادة الـ pH من ٥,٥ إلى ٨,٥. وأدت إضافة كبريتات البوتاسيوم إلى تقليل نفاذية الأغشية البلازمية، وإلى زيادة محتوى النباتات من البوتاسيوم (Kaya وآخرون ٢٠٠٢أ).

وقد أدت زيادة تركيز كلوريد الصوديوم فى المحلول المغذى للباذنجان إلى ٥٠ مللى مول إلى ضَعْف النمو الخضرى، ونقص الوزن الجاف، وانخفاض محتوى السكر الكلى

ومحصول الثمار، ولكن مع زيادة فى تركيز الفينولات الحرة بالثمار. وأدى رش النباتات المعرضة للشدِّ الملحى بفوسفات ثنائى البوتاسيوم di-potassium hydrogen orthophosphate (ورمزه الكيميائى: K_2HPO_4) بتركيز ١٠ مللى مول إلى التغلب على أضرار الملوحة على كل من النمو النباتى ومحصول الثمار والسكر الكلى بالثمار. هذا.. إلا أن محتوى الصوديوم الذى ازداد بفعل الشدِّ الملحى لم ينخفض بمعاملة الرش بفوسفات ثنائى البوتاسيوم، ولكنها قللت من تراكم الصوديوم بالثمار. كذلك كان محتوى البوتاسيوم والكالسيوم فى جميع أجزاء النبات والفوسفور فى النموات الخضريةفى مستوى النقص تحت ظروف الشدِّ الملحى، وأدت معاملة الرش بفوسفات ثنائى البوتاسيوم إلى تصحيح ذلك الوضع (Elwan ٢٠١٠).

زيادة التسميد بالكالسيوم

دور الكالسيوم فى تحمل الملوحة

يلعب الكالسيوم (Ca^{2+}) دورًا هامًّا فى تحمل الملوحة فى النباتات، ويوفر لها حماية فى الأراضى الصودية؛ لما يلعبه من دور أساسى فى العمليات التى تحفظ الكيان التركيبى والوظيفى للأغشية الخلوية، وحفظ تركيب الجدر الخلوية، وتنظيم انتقال الأيونات وانتقائيتها، والتحكم فى سلوك تبادل الأيونات، ونشاط الإنزيمات بالجدر الخلوية. ومن أهم وظائف الكالسيوم الأساسية العمل كمرسال ثانٍ فى إشارات الشدّ، حيث يدخل فى مجموعة من التفاعلات التى تقود إلى تدفق أيون الصوديوم Na^+ خارج السيتوبلازم أو حجزه فى الفجوات العصارية (Hadi & Karimi ٢٠١٢).

الطماطم

أدت إضافة مزيد من الكالسيوم أو البوتاسيوم أو كلاهما فى صورة ملح النترات إلى المحلول المغذى للطماطم فى ظروف الشدِّ الملحى (٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم) إلى جعل نباتات الطماطم أكثر قدرة على تحمل الآثار الضارة للملوحة؛ بزيادة حجم النمو

الجذرى، ووزنه الطازج، وتركيز الكالسيوم به، والوزن الطازج للأوراق ومحصول الثمار (Lopez & Satti ١٩٩٦).

وأدت إضافة الكالسيوم إلى المحلول المغذى الملحى (١٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم) للطماطم فى صورة كبريتات كالسيوم – وليس كلوريد كالسيوم – إلى التغلب على حالة الشدّ الملحى؛ الأمر الذى قد يمكن تفسيره بعدم قدرة كلوريد الكالسيوم على الحد من امتصاص الكلوريد أو سميته. وقد تحسن النمو الخضرى فى وجود كبريتات الكالسيوم (Cains & Shennan ١٩٩٩).

كما وجد أن زيادة التسميد بالكالسيوم تؤدى إلى منع الأضرار السامة لزيادة تركيز الصوديوم على معدل البناء الضوئى بالأوراق، إلاّ أنها لا تجعل النبات يستعيد نموه الطبيعى (Montesano & van Iersel ٢٠٠٧).

الفلفل

أدت الملوحة العالية (٣٠ مللى مول كلوريد صوديوم) إلى خفض المحصول الكلى والمحصول الصالح للتسويق فى الفلفل بنسبة ٢٣٪، و٣٧٪، على التوالى، وكان مرجع الانخفاض فى المحصول الصالح للتسويق – أساسًا – إلى حدوث زيادة فى أعداد الثمار التى أُصيبت بتعفن الطرف الزهرى، وهى الظاهرة التى حدثت بين اليومين الثامن عشر والخامس والعشرين من تفتح الزهرة، حينما كانت الثمار فى أوج نموها. كذلك تأثرت جودة الثمار بزيادة الملوحة، حيث حدث نقص فى سمك وصلابة الجدر الثمرية؛ هذا.. بينما ازداد محتوى الثمار من كل من الفراكتوز والجلوكوز والـ myo-inositol. وفى ظروف الملوحة العالية أدت زيادة التسميد بالبوتاسيوم إلى خفض الوزن الطازج للثمرة، ونسبة الثمار التى أصيبت بتعفن الطرف الزهرى، والمحصول الصالح للتسويق. وفى نفس ظروف الملوحة العالية أدت زيادة تركيز الكالسيوم فى المحلول المغذى إلى زيادة إنتاج الثمار والمحصول الصالح للتسويق؛ نظرًا لما أحدثته معاملة الكالسيوم من انخفاض

فى حالات الإصابة بتعفن الطرف الزهرى (Rubio وآخرون ٢٠٠٩).

الكنتالوب

عندما نُميت نباتات الكنتالوب فى مستويين من الكالسيوم Ca^{2+} (٢، و٨ مللى مول)، ومستويين من الفوسفات (٠,٢، و١,٠ مللى مول)، ومستويين من ملوحة مياه الرى (١٠، و٨٠ مللى مول).. وجد أن زيادة تركيز أيون الكالسيوم فى المحلول المغذى فى ظروف الملوحة العالية عمل على تحسين النمو الخضرى ومحصول الثمار بنفس الدرجة. وأدت الملوحة العالية إلى تحسين جودة الثمار بزيادة صلابتها ومحتواها من السكر والمواد الصلبة الذائبة الكلية. كذلك عملت معاملة الكالسيوم العالية على زيادة محتوى السكروز والفراكتوز والجلوكوز فى الثمار، وكان ذلك التأثير أقوى فى ظروف الملوحة المنخفضة عما كان عليه فى ظروف الملوحة العالية. وفى كلتا معاملتى الملوحة.. كان أعلى تركيز للسكروز فى الثمار عندما كان تركيز الفوسفات فى المحلول المغذى ٠,٢ مللى مول (Navarro وآخرون ١٩٩٩).

الخيار

وجد أن التسميد بنترات الكالسيوم يفيد فى التغلب على أضرار الملوحة العالية على كل من محصول النبات وكتلته البيولوجية فى الخيار (Kaya & Higgs ٢٠٠٢).

الفراولة

أدى رش نباتات الفراولة النامية فى ظروف شد ملحى (٣٥ مللى مول كلوريد صوديوم/ لتر) – فى مزرعة رملية – بنترات الكالسيوم بتركيز ٩ مللى مول/لتر إلى تجنب أضرار الملوحة العالية على النمو النباتى والمحتوى الكلوروفيلّى ومحصول الثمار. كذلك ازدادت نفاذية الأغشية البلازمية فى ظروف الشد الملحى وانخفضت بالرش بنترات الكالسيوم (Kaya وآخرون ٢٠٠٢ب).

كما أدى تزويد المحاليل المغذية المضاف إليها كلوريد الصوديوم بتركيز ٣٥ مللى مول.. أدى تزويدها بمزيد من الكالسيوم (٥ مللى مول Ca على صورة كلوريد كالسيوم) إلى تحسين نمو وإنتاج الفراولة النامية فيها. وقد انخفض استعمال النباتات للماء وازدادت نفاذية الأغشية البلازمية مع زيادة تركيز كلوريد الصوديوم فى المحلول المغذى، بينما ازداد استعمال النباتات للماء وانخفضت نفاذية الأغشية البلازمية مع إضافة الكالسيوم. هذا.. وقد كان تركيز الكالسيوم فى النباتات فى مدى النقص عندما كان نموها فى مستويات عالية من كلوريد الصوديوم، إلا أن ذلك النقص تم تصحيحه بزيادة الكالسيوم (Kaya وآخرون ٢٠٠٢ج).

الفاصوليا

يُعتقد بأن زيادة توفر الكالسيوم الميسر لامتصاص النبات يجعل الفاصوليا أكثر قدرة على التأقلم على ظروف الملوحة العالية (Cachorro وآخرون ١٩٩٣ ب). كما وجد أن زيادة توفر الفوسفور فى المحاليل المغذية من ٠,١ إلى ١٠ ميكرومول H_3OP_4 جعلت نباتات الفاصوليا أكثر قدرة على تحمل الزيادة فى تركيز كلوريد الصوديوم من ١٠ إلى ١٠٠ مللى مول، حيث عملت زيادة الفوسفور على زيادة النمو النباتى الجذرى والخضرى، وتقليل الأضرار التى تُحدثها الملوحة العالية بالنموات الخضرية (Zaiter & Saade ١٩٩٣).

ويبدو أن دور الكالسيوم فى زيادة قدرة النباتات على تحمل الملوحة (عند زيادة تركيزه فى المحلول المغذى من ٠,٥ إلى ٥,٠ مللى مول) وفى جعلها تستعيد قدرتها على النمو بعد تعريضها لتركيز مرتفع من كلوريد الصوديوم.. يبدو أن مرد ذلك إلى تمكين الكالسيوم النبات من عمل التغيرات الأسموزية اللازمة، والتى تتم من خلال نواتج أيضية عضوية بصورة أساسية يستنفد إنتاجها قدرًا كبيرًا من الطاقة (Ortiz وآخرون ١٩٩٤).

الخس

دُرس تأثير زيادة تركيز كلوريد الكالسيوم فى المحاليل المغذية للمزارع المائية للخس ابتداء من ملوحة ٢,٥ حتى ٦,٣ ديس سيمنز/م، ووجد أن الشدّ الملحى المعتدل (حتى ٣,٥-٤,٤ ديسى سيمنز/م) لم يؤثر على المحصول جوهريًا، إلاّ إن المحصول انخفض قليلاً فى ملوحة ٦,٣ ديسى سيمنز/م (٢٠ مللى مول كلوريد كالسيوم/م[٣]). وانخفض تركيز النترات فى الأوراق مع زيادة تركيز كلوريد الكالسيوم فى المحلول المغذى، كما تأثرت صفات الجودة الأخرى إيجابيًّا بمعاملة كلوريد الكالسيوم، وخاصة فى الملوحة المعتدلة ٣,٥، و٤,٤ ديسى سيمنز/م (٥، و١٠ مللى مول كلوريد كالسيوم/م[٣]). وازداد محتوى كلاً من الفينولات وقوة مضادات الأكسدة فى المستويات المعتدلة من الملوحة، بينما انخفضت فى الملوحة العالية ٦,٣ ديسى سيمنز/م. كذلك لم تُحدث زيادة تركيز كلوريد الكالسيوم عدم توازن غذائى فى النبات؛ حيث استمرت نسبة الـ K إلى الصوديوم ثابتة فى مختلف تركيزات كلوريد الكالسيوم، وكذلك استمر تركيز مختلف العناصر المغذية الصغرى ثابتًا (Borghesi وآخرون ٢٠١٣).

المعاملة بالحديد المخلبى

أدت إضافة الحديد المخلبى مع الأحماض الأمينية: Fe(II)-EDTA، و Fe (arginine)2، و Fe (glycine)2، و Fe (histidine)2 كمصدر للحديد فى المحلول المغذى للطماطم إلى التغلب على الآثار السلبية للملوحة العالية (٤٠، و٨٠ مللى مول كلوريد صوديوم) على النمو الخضرى. وبينما أحدثت الملوحة العالية زيادة جوهرية فى أكسدة الدهون وخفضًا فى تركيز مجموعات الـ sulfhydryl، وخفضًا فى محتوى النمو الخضرى من الحديد والزنك والنيتروجين والبوتاسيوم، فإن تلك العناصر ازدادت بالمعاملة بالحديد المخلوب على الأحماض الأمينية، كما أدت المعاملة إلى زيادة نشاط الكاتاليز catalase، والأسكوربيت بيروكسيديز ascorbate peroxidase بأوراق النباتات المعرضة للشدّ الملحى. ويُستفاد مما تقدم أن الآثار السلبية للملوحة على الطماطم يمكن تجنبها جزئيًّا بالمعاملة بالحديد المخلوب على الأحماض الأمينية (Ghasemi وآخرون ٢٠١٤).

المعاملة بمتعددات الأمين

أدى تعريض بادرات الخيار لشدٍّ ملحى إلى زيادة نشاط إنزيما البيروكسيديز peroxidase، والسوبر أوكسيد دسميوتيز superoxide dismutase، وإلى منع نشاط إنزيم الكاتاليز catalase فى الجذور، وأحدثت المعاملة بالاسبرميدين spermidine زيادة أكبر فى كل من البيروكسيديز والسوبر أوكسيد دسميوتيز، وإلى تنشيط الكاتاليز فى الأوراق والجذور. ويُستدل من ذلك على أن الشد الملحى يحفز نشاط إنزيمات مضادات الأكسدة، وخاصة البيروكسيديز والسوبر أوكسيد دسميوتيز، وأن المعاملة بالاسبرميدين تزيد من هذا النشاط المضاد للأكسدة (Du وآخرون ٢٠١٠).

وأدت معاملة نباتات الخيار بتركيز عالٍ من كلوريد الصوديوم (٧٥ مللى مول كلوريد صوديوم) فى المحلول المغذى مع رش الأوراق بمحلول ١ مللى مول من الاسبرميدين spermidine إلى الحد من إنتاج النباتات للإثيلين (الأمر الذى يحدث لدى تعرضها للملوحة العالية) بتثبيط معاملة الاسبرميدين لتمثيل ونشاط الإنزيم 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase؛ وبذا.. تُزيد معاملة الاسبرميدين من تحمل النباتات للشدّ الملحى (Li وآخرون ٢٠١٣).

كما أحدث تعرض البصل لشدٍ ملحى قدره ١٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم زيادة كبيرة فى نفاذية الأغشية البلازمية، لكن المعاملة بأى من الاسبرميدين spermidine، أو الاسبرمين spermine أدت إلى حماية الأغشية البلازمية فى ظروف الشد الملحى، بينما لم تكن المعاملة بالبوترسين putrescine فعالة (Mansour & Al-Mutawa ١٩٩٩).

وأدت معاملة بادرات صنفا الطماطم Chaoguan (المتحمل للملوحة)، و Zhongza No 9 (الحساس للملوحة) بالاسبيرميدين spermidine إلى الحد من النقص فى النمو الناشئ عن التعرض لشد الملوحة والقلوية معًا، وخاصة فى الصنف الحساس. ويبدو أن ذلك التأثير الإيجابى لمعاملة الاسبرميدين حدث من خلال تخفيفها للاضطرابات فى أيض النيتروجين الذى يُحدثه شد الملوحة والقلوية (Zhang وآخرون ٢٠١٣).

وقد أضيف البوترسين putrescine إلى المحلول المغذى للخيار بتركيز ١٠٠ ميكرومول قبل ثلاثة أيام من تعريض بادرات الخيار لكلوريد الصوديوم بتركيز ١٠٠ مللى مول، وأدت معاملة البوترسين إلى التغلب على الآثار الضارة لمعاملة الملوحة؛ حيث ساعدت فى خفض امتصاص الصوديوم، مع زيادة فى تراكم البوتاسيوم فى الجذور، كما ساعدت معاملة البوترسين فى التغلب على مشكلة الشد الأسموزى التى أحدثتها معاملة الملوحة، وكذلك مشاكل الانخفاض الذى أحدثته معاملة الملوحة فى كل من معدل البناء الضوئى وتوصيل الثغور. ويُستفاد مما تقدم بيانه أن البوترسين يلعب دورًا هامًا فى حماية نباتات الخيار من شدّ الملوحة (Shi وآخرون ٢٠٠٨).

التطعيم

يمكن أن يمثل التطعيم وسيلة فعّالة لتجنب أو الحد من النقص فى المحصول الذى يسببه شدّ الملوحة فى محاصيل العائلتين الباذنجانية والقرعية؛ علمًا بأن كلا من الأصل والطعم يمكن أن يسهما فى تحمل النباتات المطعومة للملوحة. وغالبًا ما أظهرت النباتات المطعومة النامية فى ظروف الشدّ الملحى نموًّا أفضل ومحصولاً أعلى، وقدرة أكبر على البناء الضوئى، ومحتوى أعلى من الماء بالأوراق، ونسبة أكبر من الجذور إلى النمو الخضرى، وتراكمًا أعلى للمركبات المتوافقة التى تحفظ الضغط الأسموزى (compatible osmolytes)، وحامض الأبسيسك ومتعددات الأمين بالأوراق، وقدرًا أكبر من المركبات والإنزيمات المضادة للأكسدة، وتراكمًا أقل للصوديوم والكلورين بالأوراق، وذلك مقارنة بالوضع فى النباتات غير المطعومة أو المطعومة على نفس نوعها وصنفها (Colla وآخرون ٢٠١٠).

الطماطم

وجد فى الطماطم المطعومة والنامية فى وسط ملحى أن تراكم الصوديوم فى الأوراق لا يتأثر بالتركيب الوراثى للطعم، وإنما يتحكم فيه – بصورة أساسية – التركيب الوراثى للأصل، كما وجد أن خصائص الأصل تجعل من الممكن حث الطعم على تحمل الملوحة تبعًا للتركيب الوراثى للطعم (Santa-Cruz وآخرون ٢٠٠٢).

وقد أدى تطعيم الطماطم على الأصل AR-9704 إلى تقليل تركيز أيونا الكلوريد والصوديوم فى أوعية وأوراق النباتات المطعومة عما فى نباتات الكنترول غير المطعومة (Frenández-Garcia وآخرون ٢٠٠٢).

كما أدى تطعيم الطماطم على الأصل: صنف Radja إلى زيادة محصول الثمار، وإحداث تحسن فى محتوى الثمار من كل من المواد الصلبة الذائبة الكلية والحموضة المعايرة فى ظروف الشدّ الملحى (Flores وآخرون ٢٠١٠).

ووجدت زيادة فى نمو ومحصول الطماطم عندما طُعِّمت الطماطم الحساسة Moneymaker على أصل الطماطم المتحمل للملوحة Pera، عندما كان الرى بماء بلغت ملوحته ٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم، وذلك مقارنة بالوضع فى حالة عدم التطعيم أو عند التطعيم على Moneymaker. كما وجدت نتائج مماثلة عندما طعم صنف الطماطم الحساس للملوحة Jaguar على أى من الأصول: Radja ، و Volgogradskij ، وPera، و Pera × Volgogradskij عندما كان الرى بماء بلغت ملوحته ٧٥ مللى مول كلوريد صوديوم، إلاّ أن التأثير الإيجابى على تحمل شدّ الملوحة الذى أحدثه الأصل كان أقل فى تركيز ٢٥ مللى مول كلوريد صوديوم عما كان فى تركيز ٥٠ أو ٧٠ مللى مول كلوريد صوديوم. وبصورة عامة .. فإن تحمل الطُعم للملوحة يتوقف على مدى تحمل الأصل، إلاّ أن التأثير الإيجابى للأصل قد يظهر بدرجات مختلفة تبعًا لمدى قدرة الطعم على استبعاد أيونى الصوديوم والكلور (Colla وآخرون ٢٠١٠).

ووُجد فى ظروف الملوحة المعتدلة (٢٠ مللى مولى كلوريد صوديوم) أن تطعيم الطماطم الحساسة للملوحة على أصول متحملة للملوحة، مثل الصنف Arnold — ذات القدرة على خفض تركيز الصوديوم فى الأوراق الحديثة وفى معظم الأوراق النشطة — قد يؤدى إلى زيادة المحصول والقيمة الغذائية للثمار بخفض محتواها من الصوديوم (di Gioia وآخرون ٢٠١٣).

الباذنجان

دُرست استجابة الباذنجان المطعوم على الأصل المتحمل للملوحة *Solanum torvum* لزيادة تركيز نترات الكالسيوم حتى ٨٠ مللى مول/لتر فى المحلول المغذى، ووجدت زيادات جوهرية فى تركيز متعددات الأمين polyamines، وفى نشاط الإنزيمات: سوبر أوكسيد ديسميوتيز superoxide dismutase، وأسكوربيت بيروكسيديز ascorbate peroxidase، جلوتاثيون ردكتيز glutathione reductase فى أوراق النباتات المطعومة، وكان لتلك الزيادات فى البولى أمينات والإنزيمات المضادة للأكسدة فى بادرات الباذنجان دورها فى حمايتها من الزيادة الكبيرة فى تركيز نترات الكالسيوم فى المحلول المغذى (Wei وآخرون ٢٠٠٨).

وتحسَّن نمو ومحصول صنف الباذنجان Suqiqie فى ظروف الشدِّ الملحى عندما طُعِّم على الأصل Torvum vigor، وهو من *Solanum torvum* (Colla وآخرون ٢٠١٠).

الكنتالوب

دُرس تأثير مستويات مختلفة من البورون (من ٠,٢ إلى ١٠ مجم/لتر) والملوحة (EC من ١,٨ إلى ٤,٦ ديسى سيمنز/م) على نباتات الكنتالوب المطعومة على أصل *Cucurbita* وغير المطعومة، والنامية فى البرليت فى أصص. وقد وجد أن النباتات المطعومة تراكم فيها بورون أقل من النباتات غير المطعومة، وأن كلتاهما — المطعومة وغير المطعومة — امتصتا كميات أقل من البورون عندما كان ريهما بمياه ملحية. ويبدو أن أصل الـ *Cucurbita* استبعد امتصاص جزءًا من البورون؛ الأمر الذى قلل تركيزه فى النباتات المطعومة، وأن ضعف امتصاص البورون فى ظروف الملوحة كان مرده إلى انخفاض معدل النتح فى تلك الظروف. هذا.. وقد أدت زيادة الملوحة إلى تقليل حساسية النباتات المطعومة وغير المطعومة لزيادة تركيز البورون فى الأوراق (Edelstein وآخرون ٢٠٠٥).

وقد تمت زراعة الصنف Cyrano من *C. melo* إما غير مُطَّعم أو مطعم على الأصل التجارى P360 (وهو هجين نوعى: *C. maxima* × *C. moschata*)، وذلك فى الخفاف البركانى pumice، وتم تزويد النباتات بمحاليل مغذية ذات درجات توصيل كهربائى EC مقدارها ٢,٠ ، ٤,٠ ، ٥,٩ ، ٧,٨ ، ٩,٧ ديسى سيمنز/م. وكان للمحاليل المغذية الملحية (تلك التى كان الـ EC فيها أعلى عن ٢,٠ ديسى سيمنز/م) نفس التركيب بالإضافة إلى ٢٠ أو ٤٠ أو ٦٠ أو ٨٠ مللى مول كلوريد صوديوم، على التوالى. أحدثت زيادة تركيز الملوحة نقصًا خطيًّا فى المحصول الصالح للتسويق مقارنة بمحصول نباتات الكنترول، وهو الأمر الذى كان مرده إلى حدوث انخفاض فى كل من عدد الثمار المنتجة وحجمها. وكان محصول الثمار الصالحة للتسويق أعلى بمقدار ٤٤٪ فى النباتات المطعومة عما فى النباتات غير المطعومة. وقد أحدثت زيادة الملوحة تحسنًا فى صفات جودة الثمار، بزيادتها لكل من صفات الصلابة، ومحتوى المادة الجافة، والحموضة، ومحتوى المواد الصلبة الذائبة الكلية. وكانت تلك الصفات — فى المقابل- باستثناء صفة الصلابة — أقل فى ثمار النباتات المطعومة عما فى النباتات غير المطعومة. أما صفتا الصلابة واللون فكانتا أفضل فى ثمار النباتات المطعومة عما فى غير المطعومة. وقد أدى التطعيم إلى خفض محتوى الأوراق من تركيز أيون الصوديوم — فقط — دون الكلورين، إلاّ أن الحساسية للملوحة كانت متماثلة فى حالتى التطعيم وعدم التطعيم (Colla وآخرين ٢٠٠٦).

وكانت نباتات الكنتالوب المطعمة على ثلاثة هجن من *C. moschata* × *maxima Cucurbita* والنامية فى ملوحة ٤,٦ ديسى سمينز أكثر تحملاً للملوحة وأعلى محصولاً عما كان عليه الحال فى النباتات غير المطعومة أو تلك التى طعمت على نفس صنفها (Colla وآخرون ٢٠١٠).

وقورن تراكم الصوديوم والكلور فى النموات الهوائية المطعومة وغير المطعومة على أصل من الكنتالوب صنف Arava أو من الهجين النوعى للقرع العسلى: *Cucurbita maxima* × *C. moschata*، فى كل من الكنتالوب والقرع العسلى.

وقد وجد أن تركيز الصوديوم الكلى فى النموات الهوائية كان أقل من ٦٠ مللى مول/كجم فى حالة أصل الهجين النوعى للقرع العسلى، وأكثر من ٤٠٠ مللى مول/كجم فى حالة استعمال أصل الكنتالوب، أيًّا ما كان الطعم. وفى المقابل.. لم تظهر اختلافات فى محتوى النموات الخضرية من الكلورين أيًّا ما كان الأصل أو الطعم. وجد كذلك أن تركيز الصوديوم فى إفرازات الأسطح المقطوعة من السيقان مع القرع العسلى كأصل شديدة الانخفاض (أقل من ٠,١٨ مللى مول)، بينما تراوح تركيز الصوديوم فى الإفرازات التى ظهرت مع الكنتالوب كأصل بين ٤,٧، و٦,٢ مللى مول، وكانت قريبة التماثل مع تركيز الصوديوم فى ماء الرى. وقد كان تركيز الصوديوم فى الجذور ١١,٧ ضعف تركيزه فى النموات الخضرية عندما استعمل القرع العسلى كأصل، بينما كانت القيمتان متماثلتين عندما استخدم الكنتالوب كأصل. ويبدو أن تلك الحالة كان مردها إلى إقصاء أو استبعاد جذور أصل القرع العسلى لامتصاص الصوديوم، مع حجز الممتص منه فى الجذور. وقد وجد بالفعل أن جذور القرع العسلى استبعدت ٧٤٪ من الصوديوم المتاح، بينما لم يحدث تقريبًا أى استبعاد للصوديوم بواسطة جذور الكنتالوب. كذلك وجد أن جذور القرع العسلى حجزت — فى المتوسط — ٤٦,٩٪ من الصوديوم — الذى امتصته — فيها؛ فلم ينتقل إلى النموات الخضرية؛ بينما لم يحدث أى جحز للصوديوم فى حالة أصل الكنتالوب (Edelstein وآخرون ٢٠١١).

البطيخ

دُرس تأثير ملوحة المحلول المغذى فى مزرعة مائية (EC = ٢,٠ أو ٥,٢ ديسى سيمنز/م، وحُصِلَ على التركيز الأخير بإضافة ٢٩ مللى مول من كلوريد الصوديوم للمحلول المغذى القياسى) مع التطعيم على أحد أصلين، هما: الصنف Macis من *Lagenaria siceraria*، والهجين النوعى *Cucurbita maxima × Cucuarbita moschata* ، ومع استعمال صنف البطيخ Tex كطعم. وقد أدت زيادة الملوحة فى المحلول المغذى إلى نقص المحصول الكلى؛ بسبب تأثير الملوحة على متوسط وزن الثمرة وليس على أعداد الثمار. كما

كان محصول الثمار الكلى أعلى بنسبة ٨١٪ فى حالة التطعيم، مقارنة بعدم التطعيم. وأدى التطعيم إلى تحسين جودة الثمار بما أحدثته من زيادة فى محتواها من كل من المادة الجافة والجلوكوز والفراكتوز والسكروز والمواد الصلبة الذائبة الكلية. كذلك أدى التطعيم إلى خفض محتوى الأوراق من الصوديوم وليس الكلور. هذا.. إلاّ أن الحساسية للملوحة تساوت بين النباتات المطعومة وغير المطعومة، وكان مرد زيادة المحصول فى حالة التطعيم إلى النطعيم فى حد ذاته (Colla وآخرون ٢٠٠٦).

كما دُرس تأثير تطعيم صنف البطيخ Crimson Tide على أصول من كل من الجورد *Lagenaria siceraria*، و *Cucurbita maxima* فى ظروف الملوحة العالية تراوحت فيها ملوحة مياه الرى (الـ EC) من ٠,٥ (الكنترول) حتى ١٦ ديسى سيمنز/م، وذلك لمدة ٣٠ يوم، ووجد أن النباتات المطعومة أظهرت نموًّا أفضل عن نمو غير المطعومة، كما ازداد محتوى الفوسفور فى النموات الخضرية للنباتات المطعومة بنحو الضعف (Uygur & Yetisir ٢٠٠٩).

ولوحظ أن صافى معدل البناء الضوئى فى البطيخ ينخفض بزيادة الملوحة من ٢,٠ إلى ٥,٢ ديسى سيمنز/م فى كل من التركيبين Tex على Macis، و Tex على Ercole، وخاصة فى نباتات الصنف Tex غير المطعومة، إلاّ أن النباتات المطعومة أظهرت قدرًا أعلى من معدل البناء الضوئى، وتوصيل الثغور، وتركيز ثانى أكسيد الكربون بين الخلايا تحت ظروف الشدّ الملحى عما فى حالة النباتات المطعومة على نفس صنفها. وعمومًا فإن معدل البناء الضوئى يزداد انخفاضه بزيادة تركيز الملوحة ويكون ذلك مصاحبًا فى النباتات المطعومة بزيادة جوهرية فى درجة توصيل الثغور فيها (Colla وآخرون ٢٠١٠).

كما دُرس تأثير تطعيم البطيخ على سلالة من *Cucurbita maxima* وسلالتين من *Lagenaria siceraria* فى مزرعة مائية مع الرى بمحلول مغذٍ تبلغ فيه درجة

التوصيل الكهربائى EC إما ٠,٥ (الكنترول)، وإما ٨,٠ ديسى سيمنز/م (كمعاملة للشدّ الملحى)، ووجد أن النباتات المطعومة كانت دلائل نموها أعلى عن دلائل نمو النباتات غير المطعومة فى ظروف الشدّ الملحى. وكان الانخفاض فى الوزن الجاف للنموات الخضرية فى ظروف الشدّ الملحى ٤١٪ فى النباتات غير المطعومة، بينما تراوح الانخفاض من ٢٢٪ إلى ٨,٠٪ فى النباتات المطعومة. وكان تراكم الصوديوم Na^+ أعلى فى النباتات غير المطعومة عما فى المطعومة، وحدث الأمر ذاته فى جميع حالات التطعيم بالنسبة لكل من الكالسيوم Ca^{++} والمغنيسيوم Mg^{++}. واحتوت النباتات غير المطعومة تركيزًا أعلى من البوتاسيوم K^+ عما فى النباتات المطعومة فى ظروف الشدّ الملحى. وكانت نسب كل من Ca^{++} إلى Na^+، وK^+ إلى Na^+، Mg^{++} إلى Na^+ أقل فى النباتات غير المطعومة عما فى النباتات المطعومة فى ظروف الشدّ الملحى (Yetisir & Uygur ٢٠١٠).

الخيار

تتوفر صفة القدرة على تحمل الملوحة التى فى صنف الخيار Zaoduojia، بينما تتوفر صفة الحساسية للملوحة فى الصنف Jinchun No.2، وقد وجد أن تطعيم أى منهما على الأصل المتحمل Chaojiquanwang من *Cucurbita moschata* يؤدى إلى زيادة القدرة على تحمل الملوحة، وذلك من خلال تأثير الأصل على خفض تركيز الصوديوم ونسبة الصوديوم إلى البوتاسيوم وزيادة تركيز البوتاسيوم فى الأوراق، ومن خلال الحد من انتقال الصوديوم إلى الأوراق، علمًا بأن صفة تحمل الملوحة فى بادرات الخيار المطعومة ترتبط بالتركيب الوراثى للطعم (Zhu وآخرون ٢٠٠٨).

وقد أدت زيادة الملوحة من صفر إلى ٣٠، و٦٠ مللى مول كلوريد صوديوم إلى محلول هوجلند المغذى بنصف قوته إلى انخفاض محصول الخيار النامى فى بيئة تتكون من البيت موس والفيرميكيوليت بنسبة ١ : ١؛ بسبب ما تسببته الملوحة العالية من نقص

فى أعداد الثمار وفى متوسط وزن الثمرة. ووجد أن التطعيم على أى من *Cucurbita ficifolia* (صنف Figleaf Gourd)، أو *Lagenaria siceraria* (صنف Chaofeng Kangshengwang) لم يؤثر جوهريًا على المحتوى الرطوبى للأوراق، ولكنه أدى إلى زيادة أعداد الثمار والمحصول الصالح للتسويق والمحصول الكلى فى كل معاملات الملوحة؛ الأمر الذى ترافق مع زيادة تركيز البوتاسيوم وانخفاض تركيز الصوديوم والكلور بالأوراق، مقارنة بما كان عليه الوضع فى أوراق نباتات الخيار غير المطعومة. وقد حسَّنت الملوحة من جودة الثمار بزيادة محتواها من المادة الجافة، والسكر الذائب، والحموضة المعايرة، لكن لم يكن للملوحة تأثير جوهرى على محتوى الثمار من فيتامين C. كذلك حسَّن التطعيم – على أى من الأصلين – من جودة الثمار فى ظروف الملوحة؛ بسبب ما أحدثته الأصول من زيادة فى محتوى الثمار من كل من السكر الذائب والحموضة المعايرة وفيتامين C، وما أحدثته من خفض فى كل من محتوى الصوديوم والكلورين بالثمار، وخاصة فى مستوى ملوحة ٦٠ مللى مول كلوريد صوديوم. كذلك أدت الأصول إلى زيادة محصول الثمار فى ظروف الملوحة العالية (Huang وآخرون ٢٠٠٩).

إن تطعيم الخيار على أصول مناسبة يعد استراتيجية فعالة لزيادة تحمل الخيار للشدِّ الملحى. وفى دراسة طُعِّم فيها الخيار على أصل متحمل للملوحة من القرع العسلى *Cucurbita moschata* – أو العكس – وعُرِّضت لكلوريد الصوديوم بتركيز ١ أو ٩١ مللى مول، وقيس النمو النباتى وتركيز الصوديوم بعد ١٠، و ٣٠ يومًا من بدء معاملة الملوحة.. وجد أنه بعد ١٠ أيام من تعريض النباتات للشدِّ الملحى (٩١ مللى مول كلوريد صوديوم) انخفض نمو نباتات الخيار المطعومة على القرع العسلى بنسبة ٢٩٪، وتلك المطعومة على أصل من نفس صنف الخيار (معاملة الكنترول) بنسبة ٥٨٪. وفى المقابل.. حدث انخفاض فى نمو نباتات القرع العسلى المطعومة على أصل من الخيار بنسبة ٤٤٪، وتلك المطعومة على أصل من نفس صنف القرع العسلى (معاملة كنترول) بنسبة

٢٧٪. وقد انخفض تركيز أيون الصوديوم فى النموات الخضرية للخيار المطعوم على القرع العسلى بنسبة ٦٩٪، مقارنة بنباتات الخيار المطعومة على الخيار، بينما ازداد تركيز أيون الصوديوم فى النموات الخضرية للقرع العسلى المطعوم على الخيار بنسبة ٢٠٣٪، مقارنة بنباتات القرع العسلى المطعوم على القرع العسلى. وقد أظهرت الدراسة أن جذور القرع العسلى استبعدت ٥٠,٥٪ من أيون الصوديوم، بينما لم يحدث تقريبًا أى استبعاد للصوديوم بواسطة جذور الخيار. كذلك انخفض احتفاظ النموات الخضرية — للنباتات المطعومة على القرع العسلى — بأيون الصوديوم بنسبة ١٥,٩٪، بينما لم يلاحظ أى احتفاظ بالصوديوم فى النموات الخضرية لنباتات الخيار المطعومة على الخيار.

وعندما عُرِّضت النباتات للشد الملحى (٩١ مللى مول كلوريد صوديوم) لمدة ٣٠ يومًا فإن متوسط تركيز أيون الصوديوم فى عصير الخشب للنباتات المطعومة على أصل من القرع العسلى انخفض من ٦,٥ مللى مول فى الأصل إلى ١,٩ مللى مول فى الطعم، وهو انخفاض بنسبة ٧١٪. هذا إلاّ أن منطقة التحام الأصل بالطعم لم تكن عائقًا لانتقال أيون الصوديوم عندما استخدم الخيار كأصل.

ويُستفاد مما تقدم أن لأصل القرع العسلى قدرة عالية عن قدرة أصل الخيار على استبعاد أيون الصوديوم وللاحتفاظ به؛ مما يؤدى إلى انخفاض انتقال أيون الصوديوم إلى النموات الخضرية، وزيادة تحمل الخيار للملوحة. كذلك فإن نقص انتقال أيون الصوديوم من الأصل إلى الطعم — الذى يلزم لتحمل الخيار للملوحة — هو أمر يتحكم فيه الأصل (Huang وآخرون ٢٠١٣).

وقد أدى رى نباتات الخيار فى مزرعة رملية بمحلول مغذٍ يحتوى على ٢٠ مللى مول كلوريد كالسيوم، أو ٣٠ مللى مول كلوريد صوديوم، أو ١٠ مللى مول كلوريد كالسيوم + ١٥ مللى مول كلوريد صوديوم إلى إحداث خفض جوهرى فى محصول الثمار والكتلة البيولوجية للنمو الخضرى، مع ظهور تأثير أشدّ لكلوريد الكالسيوم، فى الوقت

الذى أدت فيه الملوحة — مقارنة — بمعاملة الكنترول — إلى تحسين صفات الثمار، وتمثل ذلك فى زيادة محتواها من المادة الجافة بنسبة ٨٪ والمواد الصلبة الذائبة الكلية بنسبة ٦٪. هذا .. إلا أن الانخفاض فى محصول الثمار والكتلة البيولوجية كان أقل وضوحًا عندما طُعِّمت النباتات على أصل الخيار التجارى Alfyne، أو الأصل P360 (وهو هجين *Cucurbita maxima* × *Cucurbita moschata*)، وخاصة مع الأصل الأخير، كما استمر — مع التطعيم — التأثير الأشدّ لكلوريد الكالسيوم فى خفض محصول الثمار والكتلة البيولوجية، مقارنة بتأثير معاملات الملوحة الأخرى (Colla وآخرون ٢٠١٣).

المعاملة بالبرولين

أدت معاملة الكنتالوب فى مزرعة لا أرضية من البيت والبرليت والرمل (بنسبة ١ : ١ : ١) بكلوريد الصوديوم بتركيز ١٥٠ مللى مول.. إلى إحداث انخفاضات جوهرية فى كل من النمو النباتى، ومحصول الثمار، والمحتوى المائى النسبى، وكثافة الثغور، وامتصاص الكالسيوم والبوتاسيوم والنيتروجين، ومحتوى كلوروفيل a وb، مع إحداث زيادة جوهرية فى امتصاص الصوديوم، وتركيز البرولين، ونفاذية الأغشية. وأدت المعاملة ببوتاسيوم إضافى (إلى جانب ذلك المتوفر فى المحلول المغذى) بتركيز ٥ مللى مول نترات بوتاسيوم، أو بالبرولين بتركيز ١٠ مللى مول إلى التغلب على مختلف أضرار زيادة الملوحة (Kaya وآخرون ٢٠٠٧).

وأدى رش نباتات الفاصوليا النامية فى تربة ذات EC ١,٨٤، أو ٦,٠٣، أو ٨,٩٧ ديسى سيمنز/م (تمثل الأراضى المنخفضة والمعتدلة والعالية الملوحة، على التوالى) بالبرولين بتركيز ٥,٠ مللى مول بعد ٢٠، و ٣٠، و٤٠ يومًا من الزراعة إلى التغلب على الشدّ التأكسدى الذى أحدثته الملوحة، وحَفَّزت نمو النباتات فى كل المعاملات. أدى البرولين — كذلك — إلى زيادة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة: سوبر أوكسيد ديسميوتيز superoxide dismutase،

وكاتاليز catalase، وبيروكسيديز peroxidase، وكذلك زيادة تركيز الكاروتينات، وحامض الأسكوربيك والبرولين الداخلى، وزيادة تركيز الفوسفور والبوتاسيوم وخفض تركيز الصوديوم، ومن ثم زيادة نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم. ويُستفاد مما تقدم بيانه أن المعاملة بالبرولين تفيد فى التغلب على التأثيرات السلبية للملوحة على الفاصوليا (Abdelhamid وآخرون ٢٠١٣).

كما أدت معاملة الباذنجان فى مزرعة مائية بـ ١٠ أو ٢٠ مللى مول من كلوريد الصوديوم إلى خفض معدل نمو النباتات، والبناء الضوئى، وكفاءة استخدام المياه، ومحتوى الجذور والنموات الخضرية من البوتاسيوم والكالسيوم. وبينما عادلت المعاملة بالبرولين رشًا على النموات الخضرية التأثير الضار للملوحة على الوزن الطازج للنمو الخضرى، فإنها لم تكن مؤثرة فى معادلة التأثيرات السلبية الأخرى للملوحة (Shahbaz وآخرون ٢٠١٣).

المعاملة بالجليسين بيتين

أدى رش نباتات الفول الرومى المعرضة لشد ملحى من كلوريد الصوديوم أو كلوريد الكالسيوم بالبرولين بتركيز ٨,٧ ميكرومول، أو الجليسين بيتين glycinebetaine بتركيز ٨,٥ ميكرومول إلى تقليل الأضرار التى أحدثها الشد الملحى بالأغشية الخلوية، وتحسين النمو وامتصاص البوتاسيوم، كما أدت المعاملة إلى زيادة المحتوى الكلوروفيلى للأوراق (Gadallah ١٩٩٩).

ويفيد رش الفاصوليا بالجليسين بيتين بتركيز ١٠ مللى مول فى تحسين الوضع المائى للنباتات عندما تكون معرضة لمستوى متوسط من الملوحة (٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم)، لكن تلك المعاملة لا تفيد فى المستويات الأعلى من الملوحة كما لا تفيد معها زيادة تركيز الجليسين بيتين (Lopez وآخرون ٢٠٠٢).

وقد أضر الشدّ الملحى بالباذنجان فى صورة تثبيط واضح للنمو، ونقص فى المحصول وفى القدرة على البناء الضوئى، بالإضافة إلى انخفاض فى معدل النتح

وتوصيل الثغور، وفى محتوى الجذور والأوراق من البوتاسيوم والكالسيوم، وفى نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم. وأدت المعاملة بأى من مستخلص بنجر السكر أو بالجليسين بيتين النقى إلى التغلب على أضرار الشد الملحى هذه، لكن مستخلص بنجر السكر كان أفضل من الجليسين بيتين النقى فى تحسين النمو، ومعدل البناء الضوئى، والنتح، وتوصيل الثغور، والمحصول. ومن المعلوم أن مستخلص بنجر السكر يحتوى على كميات كبيرة من الجليسين بيتين بالإضافة إلى عناصر كثيرة هامة ومتنوعة؛ ولذا.. فقد كان تأثيره فى تحفيز النمو وبعض العمليات الفسيولوجية المفتاحية فى ظروف الملوحة أفضل من تأثير الجليسين بيتين النقى أو مماثلاً له؛ مما يجعل استخدامه فى الحد من أضرار الملوحة مفضلاً عن استخدام الجليسين بيتين؛ نظرًا لرخصه (Abbas وآخرون ٢٠١٠).

كما أدى نقع بذور الفلفل قبل زراعتها فى محلول جليسين بيتين بتركيز ٥ مللى مول إلى حمايتها جوهريًّا من الشدِّ الملحى (١٥٠ مللى مول كلوريد صوديوم). حفزت المعاملة كثيرًا من معدل البناء الضوئى ومن محتوى البادرات من الكلوروفيل والبرولين. حسَّنت المعاملة — كذلك — من المحتوى المائى بالأوراق، ومن نشاط الإنزيم superoxide dismutase، بينما قللت من نفاذية الأغشية البلازمية ومن أكسدة الدهون، بالإضافة إلى أن المعاملة قللت من تراكم الصوديوم والكلورين بالأوراق ومنعت تسرب البوتاسيوم المستحث بالملح؛ أى إنها حافظت على نسبة أقل من الصوديوم Na^+ إلى البوتاسيوم K^+. وبذا.. فإن معاملة نقع بذور الفلفل فى محلول الجليسين بيتين قبل زراعتها يحمى البادرات من التأثيرات الضارة للملوحة العالية التى قد تتعرض لها بعد الإنبات (Korkmaz وآخرون ٢٠١٢).

معاملة البرايمنج وتقسية الشتلات

تمكن Wiebe & Muhyaddin (١٩٨٧) من تحسين إنبات بذور الطماطم تحت ظروف ملوحة عالية، وذلك بنقعها لمدة ثمانية أيام فى محلول مهوى من البوليثيلين جليكول ٤٠٠٠ بتركيز — ١٢ بارًا على (معاملة البرايمنج) حرارة ١٦°م قبل زراعتها فى التربة الملحية.

كذلك وجد Bano وآخرون (١٩٨٧) أن نقع بذور الطماطم فى محلول من كلوريد الكولين Choline Chloride (الكلورمكوات Chlormequat) بتركيز ٢ مللى مولار حسَّن إنباتها – بعد ذلك – فى أطباق بترى على بيئة هوجلند وأرنون Hogland & Arnon's Culture Medium أُضيف إليها كلوريد الصوديوم بتركيزات وصلت إلى ٥٠ مللى مكافئ/لتر.

كما وجد Szmidt & Graham (١٩٩١) أن إضافة البوليثيلين جليكول إلى بيئة زراعة الطماطم أدت إلى زيادة تحمل النباتات للتركيزات العالية من كلوريد الصوديوم؛ فعند تركيز ٢٠٠٠ جزء فى المليون من الملح فى المحلول المغذى كان محصول الثمار بعد ٢٣ أسبوعًا من الزراعة ١٩,٣، و١٦,٢، ١٢,٢، و٤,٢، وصفر ثمرة/ نبات عندما استعمل الهيدروجل hydrogel أوكسيد البوليثيلين Polyelhylene Oxide فى بيئة الزراعة الرملية بنسبة ١٠٠٪، و٧٥٪، و٥٠٪، و٢٥٪، وصفر٪، على التوالى.

كذلك فإنه بالإمكان زيادة قدرة النباتات على تحمل الملوحة فى مرحلة نمو البادرات بنقع البذور فى محاليل ملحية من كلوريد الصوديوم، حيث يتأقلم الجنين فسيولوجيًا ويصبح أكثر تحملاً للملوحة بعد إنبات البذور. وقد وجد Cano وآخرون (١٩٩١) أن معاملة بذور الطماطم بالنقع فى محلول من كلوريد الصوديوم بتركيز مولارى واحد جعل نباتات الطماطم أكثر تحملاً للملوحة، ولكن هذا التحمل تناقص مع زيادة تركيز الملح فى وسط الزراعة بين ٣٥ و ١٤٠ مللى مولار من كلوريد الصوديوم. كما كان تأثير المعاملة أقوى عندما أجريت على البذور عما كان عليه الحال عندما أجريت على نباتات طماطم فى مرحلة تكوين الورقة الحقيقية الرابعة. وقد ظهر تأقلم النباتات على الملوحة فى صورة زيادة فى محصول الثمار، ونقص فى تركيز أيونى الكلور والصوديوم فى النموات الخضرية، مع زيادة فى نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم.

معاملة التظليل

قد يفيد التظليل بشبك أبيض يحجب نحو ٣٠٪ من الأشعة الساقطة فى السماح برى الطماطم بماء معتدل الملوحة دون حدوث تأثيرات يُعتد بها على فسيولوجيا النبات (Delfine وآخرون ٢٠٠٠).

الحقن (العدوى) بفطريات الميكوريزا

تباين تأثير فطريات الميكوريزا على نمو النباتات العشبية — تحت ظروف الملوحة الأرضية العالية — ما بين تثبيط النمو وتحفيزه؛ الأمر الذى قد يكون مرده إلى المصدر الذى عزلت منه فطريات الميكوريزا التى استخدمت فى حقن (عدوى) النباتات المختبرة؛ ذلك لأن تلك الفطريات تتباين تبعًا للظروف التى تتواجد فيها، والتى تكون قد تأقلمت عليها. وقد وجد Copeman وآخرون (١٩٩٦) أن حقن شتلات الطماطم بفطريات ميكوريزا سبق عزلها من تربة غير ملحية حفّز النمو الخضرى للنباتات، بينما أدى حقن الشتلات بميكوريزا سبق عزلها من تربة ملحية إلى تثبيط النمو الخضرى، ولكنها أدت فى الوقت ذاته إلى خفض تركيز الكلورين فى المستويات المتوسطة من الملوحة؛ الأمر الذى قد يفيد فى زيادة قدرة النباتات على البقاء فى الأراضى الملحية.

وقد أدت معاملة بادرات الطماطم قبل الشتل بالميكوريزا *Glomus mosseae* إلى جعل النباتات أكثر قدرة على تحمل الآثار السلبية للرى بمياه ذات ملوحة عالية (درجة توصيل كهربائى قدرها ٢,٤ ديسى سيمنز/م مقارنة بدرجة قدرها ٠,٥ ديسى سيمنز/م فى الكنترول)، حيث ازداد فيها النمو الجذرى والخضرى ومحصول الثمار، كما ازداد فيها محتوى النمو الخضرى من كل من الفوسفور والبوتاسيوم والزنك والنحاس والحديد، وانخفض فيها تركيز الصوديوم عما فى النباتات التى لم تلقح بالميكوريزا عند الشتل. وعلى الرغم من أن استعمار الميكوريزا للجذور عند الإزهار كان أقل فى النباتات المعاملة عما فى نباتات الكنترول، فإن الزيادة فى محصول النباتات التى لُقِّحت

بالميكوريزا كانت ٢٩٪ عندما كان الرى بمياه منخفضة الملوحة، مقارنة بزيادة قدرها ٦٠٪ عندما كان الرى بمياه ملحية (Al-Karaki ٢٠٠٦).

وأدت معاملة جذور الطماطم بفطر الميكوريزا *Glomus mosseae* فى ظل تركيزات ملوحة أرضية: صفر أو ٥٠ أو ١٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم إلى إحداث التغيرات التالية:

١-كان تركيز الفوسفور والبوتاسيوم أعلى فى وجود الميكوريزا عما فى حالة عدم وجودها فى كل من الظروف الملحية وغير الملحية.

٢-كان تركيز الصوديوم فى وجود الميكوريزا أقل مما فى حالة عدم وجودها فى كل من الظروف الملحية وغير الملحية.

٣-رافق استعمال الميكوريزا للجذور تحفيزًا لنشاط إنزيمات الـ superoxide dismutase، والـ catalase، والـ peroxidase، والـ ascorbate peroxidase فى أوراق النباتات فى كل من الظروف الملحية وغير الملحية.

ويعنى ذلك أن الميكوريزا قد توفر حماية للنباتات من أضرار الملوحة بالحد من الشد التأكسدى المستحث بفعل الملوحة (Abdel Latif & He ٢٠١١).

وقد دُرس تأثير المعاملة بالمنتج التجارى EndRoots الذى يحتوى على فطر الميكوريزا الداخلى التطفل .*Glomus* spp لجذور أصلىّ الطماطم Maxifort، وBeaufort بغمسها فى معلق منه لمدة يوم واحد قبل شتلها فى بيئة من البرليت أُعطيت محلول مغذٍ رُفعت فيه درجة التوصيل الكهربائى إلى ٦ ديسى سيمنز/مل باستعمال كلوريد الصوديوم. ولقد أدى التطعيم – خاصة على Maxifort – مع المعاملة بالميكوريزا إلى زيادة محصول صنف الطماطم الهجين 191 الذى استُعمل كطعم. وأدى التلقيح بالميكوريزا إلى زيادة الوزن الطازج والجاف للجذور. وبينما أدت المعاملة بالميكوريزا إلى زيادة محتوى الثمار من فيتامين C، فإنها تسببت فى خفض حموضتها

المعايرة. ويُستفاد كذلك من هذه الدراسة أن تحمل الملوحة يتحسن إذا لُقِّحت النباتات المطعومة بالميكوريزا (Oztekin وآخرون ٢٠١٣).

المعاملة بالبكتيريا المنشطة للنمو

أدى تلقيح بذور الخس بالـ Azospirillum إلى تحسين إنباتها فى كل من الظروف العادية وظروف الملوحة، مقارنة بالإنبات فى البذور التى لم تُلقح بالبكتيريا. وقد استمر النمو الخضرى بقوة أكبر فى النباتات التى نتجت من البذور المعاملة بالبكتيريا حتى مع تعرضها للملوحة، وذلك مقارنة بالنمو النباتى فى معاملة الكنترول (Barassi وآخرون ٢٠٠٦).

وقد أدت زيادة ملوحة وسط نمو جذور الفراولة إلى ٣٥ مللى مول كلوريد صوديوم — مقارنة بـ صفر مللى مول — إلى إحداث نقص فى محصول الثمار بنسبة ٥١,٦٪ وفى المحتوى المائى النسبى للأوراق بنسبة ٢١٪. وفى المقابل.. أدت المعاملة بالأنواع البكتيرية المنشطة للنمو: *Bacillus spharicus* GC subgroup B (السلالة EY30)، و*Staphylococcus kloosii* (السلالة EY37)، و*Kocuria erythromyxa* (السلالة EY43) فى ظروف الملوحة العالية إلى زيادة محصول الثمار جوهريًّا بنسبة ٥٤,٤٪، و٥١,٧٪، و٩٤,٩٪، على التوالى، وذلك مقارنة بمحصول نباتات الكنترول التى لم تُعامل بهذه البكتيريا (Karlidag وآخرون ٢٠١١).

وأمكن الحصول على ثلاث عزلات بكتيرية من تربة عالية الملوحة، كانت كما يلى:

- العزلة EY2 من *Bacillus subtilis*.
- العزلة EY6 من *Bacillus atrophaeus*.
- العزلة EY30 من *Bacillus spharicus* GC subgroup B.

وبنقع بذور الفجل فى معلق من كل عزلة منها لمدة ساعتين على ٢٧°م ازدادت نسبة الإنبات وسرعته، مقارنة بما حدث فى البذور التى لم تنقع، كما أثرت المعاملة بتلك البكتيريا المنشطة للنمو إيجابيًّا على دلائل النمو، وأدت إلى زيادة المحتوى الكلوروفيلى وانخفاض التسرب الأيونى للنباتات فى ظروف الملوحة العالية (Yildrim وآخرون ٢٠٠٨).

وفى دراسة أخرى على الفراولة لُقِّحت الشتلات بالعزلات الثلاث المذكورة أعلاه، وكذلك بعزلتين إضافيتين، هما:

- العزلة EY37 من *Staphylococcus kloosi*.
- العزلة EY43 من *Kocuria erythromyxa*.

وقد أحدثت جميع المعاملات البكتيرية زيادات جوهرية فى كل من المحتوى الكلوروفيلى، ومحتوى كل العناصر بالنباتات (باستثناء الصوديوم والكلورين)، وفى محصول الثمار، كما خفضت المعاملة من التسرب الأيونى فى ظروف الشدِّ الملحى، وأدت إلى زيادة المحتوى الرطوبى النسبى للنباتات. وكانت أكثر العزلات تأثيرًا EY43، وEY37، حيث ازداد مع المعاملة بهما المحصول بنسبة ٤٨٪، و٤٦٪، على التوالى. كما حدثت أعلى زيادة فى محتوى النباتات من عناصر النيتروجين والبوتاسيوم والفوسفور والكالسيوم والمغنيسيوم والكبريت والمنجنيز والنحاس والحديد بالمعاملة بالعزلة E43، وذلك فى ظروف الملوحة العالية وتلتها فى هذا التأثير العزلات E6، و E37، وE30؛ بما يعنى أن معاملات البكتيريا المنشطة للنمو يمكن أن تفيد فى التغلب على أضرار الملوحة العالية فى الفراولة (Karlidag وآخرون ٢٠١٣).

المعاملة بغاز ثانى أكسيد الكربون

قارن Cramer & Lips (١٩٩٥) تأثير محاليل مغذية تحتوى على صفر أو ١٠٠ مللى مولا من كلوريد الصوديوم، ويمرر فيها إما هواء عادى وإما هواء غنى بغاز ثانى

أكسيد الكربون (احتوى الهواء على الغاز بتركيز ٥٠٠٠ مللى مولا/ مول)، ووجدا أن نباتات الطماطم النامية فى المحلول المغذى الملحى تراكم فيها قدرُ أكبر من المادة الجافة والنيتروجين الكلى عندما كانت تهوية المحلول المغذى بالهواء الغنى بغاز ثانى أكسيد الكربون، مقارنة بتهويته بالهواء العادى. وقد كانت هذه النباتات النامية فى محلول مغذٍ ملحى مهوى بهواء غنى بثانى أكسيد الكربون أكثر قدرة على امتصاص النترات ونقلها فى النباتات، مقارنة بالنباتات النامية فى ظروف استعمل فيها هواء عادى فى تهوية المحلول المغذى الملحى. وقد أدت تهوية المحلول المغذى بالهواء الغنى بثانى أكسيد الكربون إلى زيادة وصول الكربون غير العضوى إلى داخل الجذور بمقدار ١٠ أمثال الحال فى المحاليل المغذية التى استعمل فى تهويتها الهواء العادى سواء كانت هذه المحاليل ملحية، أم غير ملحية.

وأدت مضاعفة تركيز غاز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء المحيط بنباتات الطماطم إلى زيادة الحد الأقصى لتحملها للملوحة دون التأثير على نموها (threshold value) من ٣٢ إلى ٥١ مللى مول/ديسى متر كلورين (mmol dm^{-3} Cl). وأحدثت زيادة تركيز ثانى أكسيد الكربون خفضًا قليلاً فى نسبة الجذور إلى النموات الخضرية عما فى نباتات الكنترول (١٣٨ مقارنة بنسبة ١٥٦). كذلك انخفض محتوى الأوراق من الكلوريد وتركيزه فيها جوهريًّا بمضاعفة تركيز ثانى أكسيد الكربون فى الهواء الجوى (Maggio وآخرون ٢٠٠٢).

المعاملة بالكبريت وحامض الهيوميك

أدت معاملة التربة الرملية المستصلحة الملحية (EC = ٨,٢ – ٨,٥ ديسى سيمنز/م) بكل من الكبريت الزراعى بمعدل ٥٠٠ كجم للهكتار (٢١٠ كجم للفدان) + حامض الهيوميك بمعدل ٢٠٠ كجم للهكتار (٨٤ كجم للفدان) إلى التغلب على المشاكل التى تسببها الملوحة العالية فى البسلة (Osman & Rady ٢٠١٢).

المعاملة بالسيليكون

دُرس تأثير المعاملة بالسيليكون (S) والنانوسيليكون nano silicon (اختصارًا: NS) على تحمل الطماطم الشيرى للشدِّ الملحى. وبينما أثرت الملوحة العالية سلبيًّا على الوزن الطازج والجاف للنباتات وحجم النمو الجذرى وقطر الساق، وأدت إلى زيادة التسرب الأيونى، وخفَّضت من تواجد ثانى أكسيد الكربون بين الخلايا تحت الثغور، ومن معدل البناء الضوئى، وتوصيل النسيج الوسطى، فإن المعاملة بالسيليكون أدت إلى زيادة الوزن الرطب والجاف للنباتات، وحجم النمو الجذرى، وتركيز الكلوروفيل، والمحتوى المائى للأوراق. هذا.. إلاّ أن توصيل الثغور انخفض بفعل معاملة السيليكون. وفى المقابل أحدثت المعاملة بأى من السيليكون أو النانوسيليكون زيادة فى معدل البناء الضوئى وفى توصيل النسيج الوسطى فى ظروف الشدِّ الملحى، ولم يظهر فرق جوهرى بين المعاملة بالسيليكون والنانوسيليكون. ويُستفاد من تلك الدراسة أن معاملة نباتات الطماطم الشيرى بالسيليكون بتركيز ١,٠، و٢,٠ مللى مول فى المحلول المغذى تُفيد فى التغلب على أضرار الشدِّ الملحى (Haghighi & Pessaarakli ٢٠١٣).

المعاملة بحامض السلسيلك

من خلال دوره فى تنظيم النمو النباتى، تؤثر المعاملة بحامض السلسيلك إيجابيًّا على الوزن الجاف لجذور الجزر، وتركيز الكبريت فيها، ومحتواها من الكاروتينات والأنثوسيانين، وتُحدث زيادة فى النشاط المضاد للأكسدة بكل من الجذر والنموات الخضرية. وقد نظمت المعاملة بحامض السلسيلك تراكم البرولين والبورون والكلورين فى الجذر الخازن والنموات الخضرية فى ظروف الملوحة وظروف زيادة البورون (Eraslan وآخرون ٢٠٠٧).

وتؤدى معاملة بادرات الخيار بحامض السلسيلك إلى تراكم السكريات (خاصة غير المختزلة) فيها، وهى التى تعمل كمنظمات أسموزية؛ بما يسمح امتصاص النباتات للماء

فى ظروف الشدِّ الملحى وبقائه فى الخلايا النباتية؛ بما يؤدى إلى جعل البادرات أكثر قدرة على تحمل الشدِّ الملحى (Dong وآخرون ٢٠١١).

كما أدى رش نباتات الفراولة بحامض السلسيلك بتركيز ١,٠ مللى مول إلى الحد من أضرار الشد الملحى على كل من نفاذية الأغشية الخلوية (التى تزداد فى ظروف الملوحة) ومحتوى النباتات من كل من البرولين والبروتين والكلوروفيل التى تنخفض فى ظروف الشدِّ الملحى (Tohma & Esitken ٢٠١١).

وأفاد نقع بذور الفاصوليا فى محلول من الـ 24-epibrassinolide بتركيز ٥ ميكرومول، أو من حامض السلسيلك بتركيز ١,٠ مللى مول قبل زراعتها فى شد ملحى قدره ١٠٠ مللى مول كلوريد صوديوم إلى التغلب على التأثير الضار للملوحة، تمثل فى إحداث المعاملة لزيادة فى نسبة إنبات البذور، ونمو البادرات، وثبات الأغشية الخلوية، والمحتوى المائى النسبى، وتركيز الحاميات الأسموزية osmoprotectants ونشاط النظام المضاد للأكسدة، وبإحداثها — كذلك — لخفض فى أكسدة الدهون والتسرب الأيونى، مقارنة بما حدث فى الكنترول (Semida & Rady ٢٠١٤).

المعاملة بحامض الجاسمونك

أدت معاملة بادرات البسلة وهى بعمر ١٠ أيام بحامض الجاسمونك jasmonic acid لمدة ثلاثة أيام قبل تعريضها لملوحة قدرها ٣٠ مللى مول كلوريد صوديوم لمدة ٣ أو ٦ أيام إلى معادلة تأثير الملوحة، أو إلى تأقلم النباتات عليها؛ فكان معدل البناء الضوئى، ومحتوى الماء النسبى، والمحتوى البروتينى للنباتات المعاملة بحامض الجاسمونك مع الملوحة أعلى مما فى النباتات المعاملة بالملوحة فقط. كما أن المعاملة بحامض الجاسمونك فى حد ذاته أحدثت شدًا فسيولوجيًا، وجعلت النباتات تستجيب بزيادة تراكم البرولين، وزيادة كلاً من الـ photorespiratin، وتركيز ثانى أكسيد الكربون عند الـ compensation، مثلما يحدث عند التعريض للملوحة. وقد أدت المعاملة بحامض

الجاسمونك إلى خفض تراكم أيون الكلورين والصوديوم فى النموات الخضرية (Fedina & Tsonev ١٩٩٧).

المعاملة بأكسيد النيتريك

أدت معاملة بادرات الخيار بأكسيد النيتريك NO إلى الحد من أضرار الملوحة العالية (Fan & Du ٢٠١٢).

وأدت المعاملة بنيتروبروسّيد الصوديوم sodium nitroprusside (اختصارًا: SNP) بتركيزات تزايدت من صفر إلى ٠,٠٥، و٠,١، و٠,٢ مللى مول) فى المحلول المغذى للباذنجان إلى التغلب على وقف النمو فى ظروف الشدّ الملحى؛ الأمر الذى انعكس فى زيادة الكتلة البيولوجية. وإلى جانب زيادة النمو، فإن معاملة الـ SNP حفّزت دلائل البناء الضوئى، مثل صافى معدل البناء الضوئى net photosynthetic rate، وتوصيل الثغور stomatal conductance، ومعدل النتح، وتركيز ثانى أكسيد الكربون بين الخلايا، وكذلك أحدثت زيادة فى عدد من الدلائل الأخرى للبناء الضوئى، وقللت من تركيزات الـ malondialdehyde والـ H_2O_2، وأدت إلى زيادة نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة: سوبرأوكسيد ديسميوتيز، وكاتاليز، وأسكوربيت بيروكسيديز فى ظروف الشدّ الملحى. ويعتقد بأن أكسيد النيتريك nitric oxide (ورمزه الكيميائى NO) — الذى ينطلق من الـ SNP — هو الذى يوفر الحماية لبادرات الباذنجان من أضرار الشد الملحى من خلال إحداثه لتحسينات فى نشاط البناء الضوئى وجعل النبات أكثر غنى بمضاد الأكسدة (Wu وآخرون ٢٠١٣).

المعاملة بالـ 24-EBL

أدى رش نباتات الفراولة مرتان بينهما أسبوع بتركيز ٠,٥، أو ١,٠ ميكرومول من 24-epibrassinolide (اختصارًا: 24-EBL) إلى التغلب على أضرار شد الملوحة (٣٥ مللى مول كلوريد صوديوم) على النمو النباتى ودلائل النمو (Karlidag وآخرون ٢٠١١).



الفصل الثالث عشر

منشطات النمو الحيوية الميكروبية

تُستخدم منشطات النمو growth promoters فى تنشيط النمو وتحفيزه، وزيادة المحصول، والتغلب على كثير من مشاكل الإنتاج، سواء أكانت الظروف البيئية مناسبة للنمو، أم غير مناسبة له؛ الأمر الذى بيناه بعديد من الأمثلة فى الفصول السابقة من هذا الكتاب. وتلك المنشطات قد تكون منظمات نمو growth regulators — وهى موضوع الفصل الخامس عشر من الكتاب، وقد تكون منشطات حيوية ميكروبية microbial biostimulants — وهى موضوع الفصل الحالى، أو منشطات حيوية طبيعية natural biostimulants، وهى موضوع الفصل التالى (الرابع عشر).

تعمل بعض المنشطات الحيوية الميكروبية — من خلال نشاطها الحيوى — على توفير بعض العناصر الغذائية فى البيئة النباتية، بينما يفيد بعضها الآخر فى إمداد النبات بتلك العناصر، كما يعمل الكثير منها على توفير توازن هرمونى معين؛ إما بصورة مباشرة عن طريق المحفز ذاته، وإما بصورة غير مباشرة من خلال نشاط الكائنات الدقيقة التى يحتويها المحفز.

وتحتوى المنشطات الحيوية الميكروبية على واحد أو أكثر من مجموعات محفزات النمو الميكروبية التالية:

١- بكتيريا تثبيت أزوت الهواء الجوى فى التربة، أو فى جذور البقوليات.

٢- أنواع بكتيرية أخرى تعمل — من خلال نشاطها الحيوى — على توفير عناصر ضرورية أخرى (مثل الفوسفور) فى صورة ميسرة لامتصاص النبات.

٣- أنواع بكتيرية وفطرية تعمل — من خلال نشاطها الحيوى — على توفير توازن هرمونى معين محفز للنمو النباتى.

٤-أنواع فطرية (فطريات "الميكوريزا" Mycorhizae) تعيش تعاونيًا مع جذور النباتات.

وتلعب البكتيريا المحفزة للنمو النباتى دورًا هامًّا فى النمو النباتى من خلال عدة آليات تؤثر بها، ومنها:

١-التثبيت البيولوجى لآزوت الهواء الجوى.

٢-إنتاج الهرمونات المؤثرة فى النمو.

٣-إذابة الفوسفور المثبت وتيسيره للامتصاص.

٤-إنتاج الـ siderophores.

٥-إنتاج الإنزيمات المحللة hydrolytic enzymes.

٦-النشاط المضاد لمسببات الأمراض النباتية (Tailor & Joshi ٢٠١٤).

بكتيريا التسميد الحيوى

يعرف عديد من الأنواع البكتيرية والتحضيرات التجارية البكتيرية التى تستخدم فى التسميد الحيوى. ومن أهم شروط استخدام تلك البكتيريا التسميد العضوى الجيد قبل الزراعة؛ لكون السماد العضوى بيئة أساسية لنشاط هذه البكتيريا وتكاثرها.

ومن بين التحضيرات التجارية المحلية لتلك الأنواع البكتيرية، ما يلى:

١- تحضيرات تقوم بتثبيت آزوت الهواء الجوى

ومن أمثلة هذه التحضيرات التجارية ما يلى:

أ- ريزوباكتيرين Rhizobacterin:

يحتوى على البكتيريا المثبتة لآزوت الهواء الجوى محملة على بيت موس بتركيز 10^8 خلية بكتيرية لكل جرام من البيت. تعامل به البذور قبل زراعتها مباشرة، مع

مراعاة عدم معاملة البذور بمطهرات فطرية، وإلا فإن الرايزوباكتيريم يخلط مع كمية مناسبة من الرمل، ويضاف إلى جانب النباتات فى خط الزراعة.

ب- بيوجين Biogene.. وهو يحتوى على بكتيريا تثبيت آزوات الهواء الجوى *Azotobacter* spp.

ج- نيتروبين Nitrobien.. وهو يحتوى على بكتيريا تثبيت آزوات الهواء الجوى *Azospirillum* spp.، و*Azotobacter* spp.

د- ميكروبين Microbien.. وهو يحتوى على الأنواع البكتيرية *Azotobacter* spp.، و*Azospirillum* spp.، و*Pseudomonas* spp.، و*Rhizobium* spp.

هـ- سيريالين :

يستعمل - بصفة خاصة - مع المحاصيل النجيلية، والسكرية والزيتية.

٢- تحضيرات تحتوى على بكتيريا تقوم بتوفير عنصر الفوسفور فى صورة ميسرة لامتصاص النبات

تُحدث هذه البكتيريا تأثيرها من خلال إفرازاتها من الأحماض العضوية التى تعمل على إذابة العناصر التى تتوفر بكثرة فى التربة فى صورة غير ميسرة لاستعمال النبات؛ مثل عناصر الفوسفور، والحديد، والزنك، والنحاس، والمنجنيز، ومن أهم هذه الأسمدة المنتج التجارى فوسفورين Posphorine. وهو يحتوى على البكتيريا المذيبة للفوسفات *Bacillus megaterium*.

يحتوى الفوسفورين على بكتيريا نشطة فى تحويل فوسفات ثلاثى الكالسيوم - غير الميسرة لاستعمال النبات - إلى فوسفات أحادى الكالسيوم الميسرة للنبات، علمًا بأن الصورة غير الميسرة تتواجد بتركيزات عالية فى الأراضى المصرية نتيجة للاستخدام المركز للأسمدة الفوسفاتية.

ويخلط الفوسفورين بالتقاوى قبل الزراعة، كما يمكن إضافته إلى جانب النباتات أثناء نموها.

وجميع التحضيرات التجارية المذكورة أعلاه من إنتاج الهيئة العامة لصندوق الموازنة الزراعية تحت إشراف جهات بحثية، ويؤدى استعمالها إلى توفير نحو ٢٥٪ – ٣٥٪ من احتياجات النباتات السمادية من عنصر الآزوت.

٣- تحضيرات تحتوى على البكتيريا المذيبة للسيليكات والميسرة للبوتاسيوم

تفيد المعاملة بالتحضيرات التى تحتوى على بكتيريا إذابة السيليكات، مثل: *Bacillus mucilaginosus* فى زيادة تيسر كل من البوتاسيوم والفوسفور فى التربة.

لقد عُزلت من التربة وسطح الأحجار ومعى ديدان الأرض بكتيريا مكونة للهلام slime-forming bacteria كانت قادرة على إذابة السيليكات، وبخاصة البكتيريا *Bacillus mucliaginosus* (السلالة RGBc13)، التى كانت قادرة على استعمار تربة المحيط الجذرى، وكذلك التربة التى ليست فى المحيط الجذرى. ولقد تحسنت فى الطماطم حالة التغذية بالبوتاسيوم والفوسفور بوضوح عندما عُوملت التربة بهذه البكتريا، حيث أدت إلى زيادة تيسرهما بدرجة كبيرة (Lin وآخرون ٢٠٠٢).

ومن أمثلة التحضيرات التجارية الحيوية الأخرى المنشطة للنمو النباتي والميسرة للعناصر الغذائية للنبات، ما يلى:

التحضير التجارى	تأثيره
• سمبيون فام Symbion-Vam (يحتوى على عدة أنواع من فطريات الميكوريزا وأنواع بكتيرية تعيش فى التربة، منها *Bacillus megaterium*)	تسهيل امتصاص العناصر، وزيادة المقاومة لإجهاد الجفاف والبرودة، ولبعض الآثار الضارة لأمراض الجذور، فضلاً عن تيسير الفوسفور فى التربة

التحضير التجارى	تأثيره
• سمبيون الآزوت Symbion-N (يحتوى على البكتيريا *Azospirillium* spp.)	مثبت لآزوت الهواء الجوى
• سمبيون الفوسفور Symbion-P (يحتوى على البكتيريا *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum*)	مذيب للفوسفور فى التربة
• سمبيون الآزوت أسيتوباكتر Symbion-N (*Acetobacter*) (يحتوى على البكتيريا التكافلية التعايش *Acetobacter* spp.)	مدّ النبات بالآزوت وبعض الهرمونات المحفزة للنمو، علمًا بأن البكتيريا تعيش تكافليًا داخل جذور النبات
• سمبيون الآزوت رايزوبيم Symbion-N (*Rhizobium*) (يحتوى على بكتيريا *Rhizobium* spp.)	مدّ النبات ببكتيريا الرايزوبيم التى تعيش تكافليًا فى جذوره وتمده بالنيتروجين
• سمبيون البوتاسيوم Symbion-K (يحتوى على البكتيريا *Frateuria aurentia*)	تقوم البكتيريا بتحرير البوتاسيوم من مصادره غير الذائبة كمعادن التربة الأساسية.

وقد أدت معاملة التربة بالبكتيريا المثبتة لآزوت الهواء الجوى من الأنواع *Azotobacter chroococcum*، و*Azospirillium lipoferum*، و*Beijerinckia* sp. إلى زيادة النمو الجذرى والخضرى للفلفل، وزيادة النشاط البكتيرى فى بيئة نمو الجذور (Govedarica وآخرون ١٩٩٧).

وأدى تلقيح بذور الخس بالـ *Azosprillum* قبل زراعتها إلى تحسين نمو النباتات الناتجة منها (الكتلة الحيوية للأوراق والجذور قبل الشتل، والوزن الطازج للأوراق ومحتواها من حامض الأسكوربيك قبل الحصاد) فى كل من الكنترول (صفر كلوريد صوديوم)، و ٤٠ مول كلوريد صوديوم/م^{٣}، مع حدوث زيادة فى كل من الوزن الجاف للأوراق ومحتواها من الكلوروفيل فى الحالة الأخيرة (Fasciglione وآخرون ٢٠١٢).

بكتيريا المحيط الجذرى

تعيش بكتيريا المحيط الجذرى rhizosphere bacteria فى المحيط الجذرى للنباتات، التى تستفيد من نشاطها البيولوجى.

لا تُعرف- على وجه الدقة – الكيفية التى تتحقق من خلالها استفادة النباتات من تلك الأنواع البكتيرية، وإن كانت هناك عدة احتمالات لذلك، منها ما يلى:

١-تفرز البكتيريا أثناء نشاطها البيولوجى عددًا كبيرًا من المركبات التى يمكن أن تستفيد منها النباتات؛ مثل: الفيتامينات، والأحماض الأمينية، والفينولات، ومركبات أخرى عديدة تقدر بالآلاف.

٢-تفرز البكتيريا عديدًا من منشطات النمو الهرمونية التى تحقق للنبات توازنًا هرمونيًا مناسبًا للنمو الجيد.

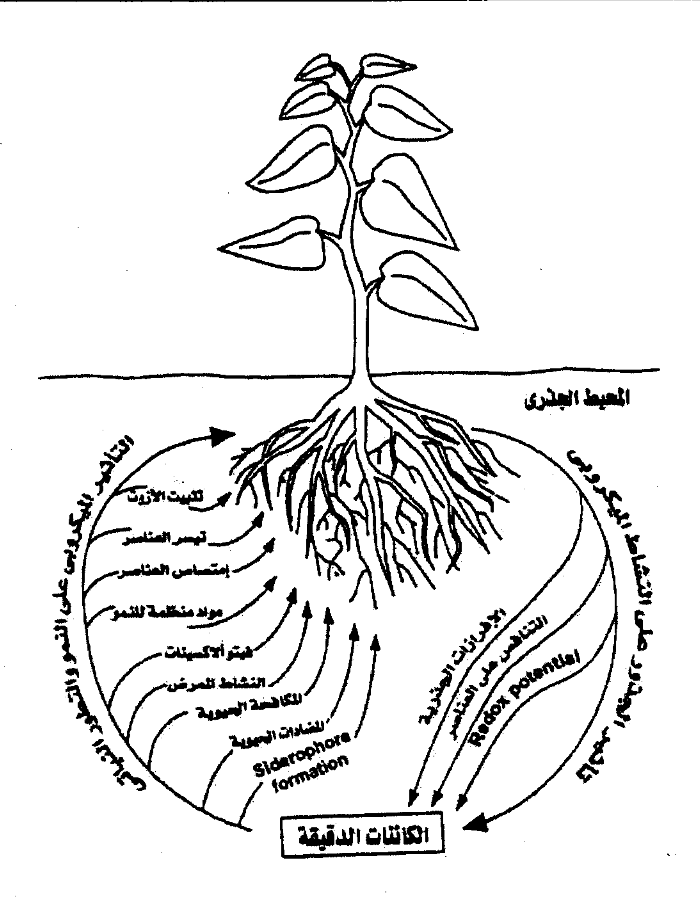
٣-تفرز البكتيريا أثناء نشاطها مضادات حيوية متنوعة تفيد فى وقف نشاط الكائنات الدقيقة الأخرى المسببة للأمراض؛ مثل البكتيريا، والفطريات.

٤-تحفز البكتيريا – بسبب نشاطها البيولوجى – امتصاص النبات للعناصر المغذية من التربة.

وكلما تنوعت الأنواع البكتيرية الموجودة فى المنشط الحيوى ازداد تنوع إفرازاتها، وازدادت – بالتالى – الفائدة التى تعود منها على النباتات.

وغنى عن البيان أن الأنواع البكتيرية التى يمكن أن تستفيد النباتات من نشاطها لا تمثل سوى نسبة ضئيلة من آلاف الأنواع البكتيرية المعروفة، وأن التآلف – وليس التنافس – بين هذه الأنواع ضرورى لكى تتحقق للنباتات الفائدة المرجوة منها.

إن المحيط الجذرى rhizosphere هو ذلك الجزء من التربة الذى يقع تحت التأثير المباشر لجذور النباتات الراقية، وهو يعد أكثر أجزاء التربة كثافة بالكائنات الدقيقة التى تكون فى تلامس مباشر مع الجذور النباتية. وتكون جذور معظم النباتات الراقية فى علاقة بعدد كبير من الأنواع الميكروبية النشطة، وقد تكون تلك العلاقة مفيدة للطرفين mutualistic، أو مضادة لأحدهما antagonistic، أو متباينة التأثير. ويوضح شكل (١٣ -١) عدد من تلك التأثيرات التى يمكن أن تحدثها الكائنات الدقيقة للمحيط الجذرى على النباتات.



شكل (١٣-١): التفاعلات الممكنة بين النباتات والكائنات الدقيقة التى يمكن أن تؤثر فى النمو النباتى.

وتعرف الأنواع البكتيرية تلك المنشطة للنمو باسم Plant Growth-Promoting Rhizobacteria، وهى بكتيريا تتكاثر بالقرب من الجذور، وتنتمى إلى عدة أجناس وأنواع، من أهمها الجنسان: *Pseudomonas*، و*Bacillus*. تتم المعاملة بها — غالبًا — عن طريق البذور.

وقد تبين أن هذه البكتيريا تكسب النباتات مناعة جهازية Induced Systemic Resistance ضد عديد من الأمراض. ومن أمثلة ذلك الحالات التالية (Liu وآخرون ١٩٩٥ أ، و ١٩٩٥ب).

المحصول	الأمراض التى كوفحت حيويًا (ومسبباتها)
الخيار	الأنثراكنوز (الفطر *Colletotrichum orbiculare*)
	تبقع الأوراق الزاوى (البكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans*)
	الذبول الفيوزارى (الفطر *Fusariam oxysporum* f. sp. *cucumerinum*)
	سقوط البادرات (الفطر *Pythium aphanidermatum*)
الفاصوليا	اللفحة الهالية (البكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*)

وقد استعمل فى هذه الدراسات سلالات معينة من عدة أنواع بكتيرية؛ منها:

Pseudomonas putida

Serratia marcescens

Pseudomonas fluorescens

وتعتبر البكتريا *Bacillus cereus* من المنشطات الحيوية التى تستعمل عن طريق التربة، أو بمعاملة البذور قبل الزراعة، أو رشًا على النموات الخضرية.

وقد أدى استعمالها عن طريق التربة إلى زيادة محصول الباذنجان بنسبة ١١٤٪ مقارنة بمعاملة الشاهد، كما كانت معاملة بذور الخيار أكثر فاعلية من معاملة رش النباتات (Li & Mei ١٩٩١).

ومن بين منشطات النمو الهرمونية التى تفرزها بعض الكائنات الدقيقة التى تعيش فى التربة، أو فى المحيط الجذرى، أو التى تكون فى علاقة تعاونية مع جذور النباتات، ما يلى:

١- تُفرز عديد من أنواع الجنس *Azotobacter* إندول حامض الخليك، وحامض الجبريلليك، ومركبات شبيهة بالجبريللينات، ومركبات شبيهة بالسيتوكينين، وثلاثى

إندول حامض البيروفيك.

٢-تفرز عديد من أنواع الجنس *Rhizobium* إندول حامض الخليك، كما يفرز بعضها ثلاثى إندول حامض البيروفيك، وحامض الجبريلليك، وجبريللينات أخرى، ومركبات شبيهة بالسيتوكينين، والأيزوبنتيل أدينين.

٣-تفرز عديد من أنواع الميكوريزا إندول حامض الخليك، وثلاثى إندول حامض الكربوكسيلك، ومركبات شبيهة بالسيتوكينين، والزياتين (Arshed & Frankenberger ١٩٩٨).

ومن أنواع البكتيريا المنشطة للنمو، ما يلى (Vavrina ١٩٩٩):

Bacillus amyloliquefaciens

B. pumilus

B. subtilis

B. cereus

Brevibacillus brevis

Paenibacillus macerans

ونقدم فى جدول (١٣-١) أمثلة لحالات تنشيط للنمو النباتى بعد المعاملة ببعض الأنواع البكتيرية والفطرية (فطريات الميكوريزا) للبذور، أو الجذور، أو بيئات الزراعة.

جدول (١٣-١): أمثلة لحالات تنشيط للنمو النباتى بعد المعاملة ببعض الأنواع البكتيرية والفطرية للبذور، أو الجذور، أو بيئات الزراعة (عن Whipps ١٩٩٧).

الكائن الدقيق المستخدم	النبات المعامل	تنشيط النمو المشاهد
بكتيريا		
Arthrobacter citreus	لفت الزيت	المساحة الورقية المحصول
Azotobacter	الطماطم	الإنبات
		الوزن الجاف
		طول الجذور والنمو الخضرى
Azotobacter chroococcum	الطماطم	الإنبات
		الوزن الجاف
		طول الجذور والنمو الخضرى
Bacillus subtilis A-13	القطن	النمو النباتى
	الفول السودانى	المحصول
B. subtilis GB03	القطن	المحصول
B. subtilis	البصل	الوزن الجاف للجذور والنمو النباتى
		الارتفاع
Pseudomonas spp.	الفاصوليا	وزن الجذور والنمو الخضرى
Pseudomonas putida GR 12-2		الإنبات
		الوزن الجاف
	الخيار	وزن الجذور والنمو الخضرى
		الإنبات
		الوزن الجاف
	الـ guayule	الوزن الجاف
	الخس	الوزن الجاف للجذور والنمو النباتى
		الإنبات
	الكنتالوب	وزن الجذور والنمو الخضرى
		الوزن الجاف
		الإنبات
	الفلفل	وزن الجذور والنمو الخضرى
		الوزن الجاف

يتبع

تابع جدول (١٣-١)

الكائن الدقيق المستخدم	النبات المعامل	تنشيط النمو المشاهد
	البطاطس	وزن الجذور والنمو الخضرى
		المحصول
	الفجل	الإنبات
		طول الجذور والنمو الخضرى
		الوزن الجاف
		الإنبات
	التبغ	وزن الجذور والنمو الخضرى
		الوزن الجاف
	الطماطم	الإنبات
		طول الجذور والنمو الخضرى
		الوزن الجاف
	القمح	الوزن الجاف للجذور والنمو الخضرى
Pseudomonas sp. Ps JN	البطاطس	الإنبات
		تطور النمو النباتى
		محصول الدرنات
Pseudomonas flourescens	لفت الزيت	المساحة الورقية
		المحصول
	الأرز	الارتفاع
	الطماطم	الإنبات
		الوزن الجاف
		طول الجذور والنمو الخضرى
Pseudomonas fluorescens E6	القرنفل	الوزن الطازج للنمو الخضرى
Pseudomonas putida	لفت الزيت	المساحة الورقية
		المحصول
Pseudomonas putida GR 12-2	لفت الزيت	طول الجذور
Serratia liquefaciens	لفت الزيت	المساحة الورقية
		المحصول
Streptomyces griseoviridis	الكرنبيات	تطور النمو النباتى
	الخس	تطور النمو النباتى

يتبع

تابع جدول (١٣-١)

الكائن الدقيق المستخدم	النبات المعامل	تنشيط النمو المشاهد
فطريات		
Rhizoctonia solani (binucleate)	الفلفل	الوزن الجاف للنمو الخضرى
Rhizoctonia solani (nonpathogenic)	الجزر	الوزن الطازج والجاف
	القطن	وزن الألياف
	البطاطس	الوزن الطازج للنمو الخضرى
	الخس	الوزن الطازج والجاف
	القمح	وزن الحبوب والمحصول
	الفجل	الوزن الطازج والجاف
Trichoderma spp.	الخس	الوزن الطازج والجاف
	البيتونيا	عدد الأزهار
	التبغ	الإنبات
Trichoderma koningii T8	الطماطم	الوزن الجاف للجذور والنمو الخضرى
	الخيار	الإنبات
Trichoderma harzianum BR105	الطماطم	الوزن الجاف للجذور والنمو الخضرى
		عقد الأزهار
Trichoderma harzianum T-12	الفجل	الوزن الجاف
	الطماطم	الإنبات
		الوزن الطازج والجاف
Trichoderma harzianum T-95	الأقحوان	الوزن الطازج والجاف
	البيتونيا	الوزن الطازج والجاف
	الفجل	الوزن الجاف
	الطماطم	الإنبات
		الوزن الجاف للنمو الخضرى
Trichoderma harzianum T-203	الفاصوليا	الإنبات
	الخيار	الإنبات
	الفلفل	الارتفاع
		الوزن الجاف
		المساحة الورقية
	الفجل	الإنبات
Trichoderma viride	الطماطم	الإنبات
	الخس	الوزن الطازج للنمو الخضرى

ونقدم – فيما يلى – أمثلة لأنواع بكيترية مختلفة لعبت دورًا فى تنشيط النمو النباتى لدى المعاملة بها.

الجنس Bacillus

• أحدثت معاملة الطماطم وكرنب أبو ركبة والجزر ببكتيريا المحيط الجذرى *Bacillus subtilis* زيادة فى محصول الطماطم قدرت بنحو ١٠٪، وفى حجم الجزء المأكول من كرنب أبو ركبة قدرت بنحو ٨٪، بالإضافة إلى إسراع إنبات البذور وزيادة المحصول فى الجزر (Kilian & Raupach ١٩٩٩).

• أدت معاملة جذور الطماطم بالسلالة BS13 من البكتيريا *Bacillus subtilis* إلى زيادة المحصول وحجم الثمار (Mena-Violante & Olade-Portugal ٢٠٠٥).

• أدت معاملة التربة بخليط من نوعين بكتيريين يعيشان فى المحيط الجذرى وينشطا النمو النباتى، هما: *Bacillus subtilis*، و *Bacillus amyloliquefaciens* إلى زيادة محصول الفلفل جوهريًّا مقارنة بالمحصول فى النباتات التى لم تعط تلك المعاملة (Herman وآخرون ٢٠٠٨).

• أوضحت دراسات Andrade وآخرون (١٩٩٥) على البسلة أن السلالة BH-II من البكتيريا .*Bacillus* spp التى تعيش فى المنطقة المحيطة بالجذور النباتية rhizosphere يمكن أن يكون لها تأثيرات إيجابية وأخرى سلبية على النبات والتربة. فمن ناحية لم تؤثر البكتيريا على الوزن الجاف الكلى لنبات البسلة فى كل من الأراضى الغنية والأراضى الفقيرة فى عنصر الفوسفور فى غياب الميكوريزا، ولكنها أنقصت النمو النباتى بمقدار ٣٠٪ عند تواجد الميكوريزا *Glomus mosseae*. وقد أدت البكتيريا إلى زيادة نسبة الجذور إلى النمو الخضرى، ونسبة البذور إلى الوزن النباتى الكلى سواء فى وجود الميكوريزا، أم فى غيابها. وقد فقد نوعا التربة تجببهما فى غياب الميكوريزا، ولكن قل ذلك الفقد كثيرًا عند تواجد البكتيريا. وبالمقارنة ازداد تحبب التربة بنسبة

٢٧٪ خلال فترة التجربة عند تواجد الميكوريزا، ولكن لم تؤثر البكتيريا كثيرًا على تلك العملية.

- بينما لم يكن للتلقيح بالسلالة CECT 450 من *Bacillus* sp. – منفردة – أى تأثير على نباتات الفاصوليا، فإن الجمع بينها وبين السلالة CIAI 899 من بكتيريا الرايزوبيم *Rhizobium tropici* أدى إلى زيادة تكوين الأخيرة للعقد الجذرية، فى الوقت الذى أدى فيه الجمع بين السلالة USDA 110 من بكتيريا المحيط الجذرى *Bradyrhizobium japonicum* وبكتيريا الرايزوبيم إلى تقليل تكوين العقد الجذرية (Camacho وآخرون ٢٠٠١).

- أدت معاملة مخاليط الزراعة وإنتاج شتلات الطماطم والفلفل ببكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنو إلى تحسين النمو النباتى بصورة جوهرية، وزيادة المحصول جوهريا فى كلا المحصولين، وكذلك زيادة محصول ثمار الطماطم الكبيرة الحجم، وكانت أفضل المخاليط البكتيرية المؤثرة هى LS256 للطماطم (وهو يتكون من السلالة GBO3 من *B. subtilis*، والسلالة INR7 من *B. pumilis*)، وLS255 (الذى يتكون من السلالتين GBO3، و IN937b من *B. subtilis*)، وLS256 للفلفل (Kokalis–Burelle وآخرون ٢٠٠٢).

- دُرس تأثير ١٢ سلالة ونوعًا من بكتيريا المحيط الجذرى – كأسمدة حيوية – على نشاط بعض الإنزيمات الهامة ونمو نباتات السبانخ.

كانت البكتيريا كما يلى:

Bacillus mycoides FD07

B. sphaericus CR12

B. pumilus RC19

B. cereus RC18

Variovorax paradoxus RC21

Paenibacillus polymyxa RC35

Pseudonas putida RC06

B. megaterium RC07

B. megaterium M-3

B. licheniformis RC08

B. subtilis RC11

B. subtilis OSU-142

وكانت الإنزيمات التى قيس نشاطها هى:

Glucose-6-phosphate dehydrogenase

6-phosphogluconate dehydrogenase

Glutathione reductase

Glutathione-S-transferase

أدى التسميد الحيوى إلى تحسين النمو (الوزن الطازج والجاف للنمو الخضرى والجذرى لبادرات السبانخ) بنسب وصلت إلى ٣٠٪ – ٣٨٪، وربما كان مرد ذلك إلى ما أفرزته بكتيريا المحيط الجذرى من إندول حامض الخليك، حيث كانت السلالاتان الأكثر إنتاجًا لهذا الهرمون (IAA) – وهما: RC35، و RC06، أكثرها تحفيزًا للنموين الجذرى والخضرى. كذلك حسنت البكتيريا من امتصاص النيتروجين والفوسفور؛ ومن ثم حسنت النمو النباتى ونشاط الإنزيمات المفتاحية (Cakmakci وآخرون ٢٠٠٩).

• وجد أن معاملة الفراولة بأى من بكتيريا المحيط الجذرى:

Pseudomonas BA-8

Bacillus OSU-142

Bacillus M-3

تؤدى إلى زيادة محصول الفراولة، وتحسُّن نوعيتها بزيادتها لكلٍ من نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية والسكريات الكلية والسكريات المختزلة وخفضها للحموضة المعايرة، دون التأثير على أى من وزن الثمرة أو رقم الحموضة بها (Pirlak & Kose ٢٠٠٩).

• كان لثلاثة تحضيرات من بكتيريا المحيط الجذرى — هى RC19 (*Bacillus simplex*)، وRCO5 (*Paenibacillus polymyxa*)، وRC23 (*Bacillus* spp.) — تأثيرًا فعالاً فى تحسين نمو الفراولة وزيادة محصول الثمار (Erturk وآخرون ٢٠١٢).

الجنس *Pseudomonas*

• أدت معاملة بذور الخيار بالسلالة G872B من *Gliocladium virens*، أو بالسلالة Pf3 من *Pseudomonas putida*، أو بمخلوط منهما إلى زيادة معدل الإنبات، والنموين الخضرى والجذرى والمحصول، وكانت أكثر المعاملات كفاءة هى بالسلالة G872B أو بمخلوط منها مع السلالة Pf3 (Bae وآخرون ١٩٩٥).

• أدت معاملة بذور الخس والطماطم بالسلالة GR12-2 من البكتيريا *Pseudomonas putida* إلى زيادة طول جذور البادرات، ويعتقد أن ذلك التأثير كان مرده لتثبيط تلك البكتيريا لإنتاج البادرات النامية للإيثيلين (Hall وآخرون ١٩٩٦).

• كذلك أدت معاملة بذور الخيار أو التربة بالبكتيريا *Pseudomonas syringae* var. *lachrymans* إلى إحداث مقاومة جهازية فى النباتات ضد الإصابة بكل من تبقع

الأوراق الزاوى والأنثراكنوز، مع تحفيز مبكر للنمو النباتى وزيادة محصول الثمار (Wei وآخرون ١٩٩٦).

• تستجيب الطماطم لتوفير البكتيريا المنشطة للنمو النباتى حول جذور النباتات (Plant Growth-Promoting Rhizobacteria). فمثلاً.. أدت السلالة 28-63 من البكتيريا *Pseudomonas fluorescens* إلى زيادة محصول الثمار الصالحة للتسويق بنسبة ١٣,٣٪، ومحصول ثمار الدرجة الأولى بنسبة ١٨,٢٪، ومتوسط وزن الثمرة بنسبة ١١,١٪ – عندما كانت الظروف غير مناسبة للطماطم – وذلك مقارنة بمعاملة الشاهد (Gagné وآخرون ١٩٩٣).

• أحدثت معاملات بكتيريا المحيط الجذرى المحفزة للنمو زيادات جوهرية فى كل من طول وقطر شتلات البطيخ والكنتالوب، كما أدت إلى زيادة وزن المجموع الجذرى لشتلات الكنتالوب. وفى البطيخ خفضت أربع معاملات ببكتيريا المحيط الجذرى المحفزة للنمو إصابة النباتات بكل من البكتيريا *Pseudomonas syringae* pv. *lachrymans* مسببة مرض بقع الأوراق الزاوية، والفطر *Didymella bryoniae* مسبب مرض لفحة الساق الصمغية، مقارنة بالنباتات التى لم تُعامل. كذلك قللت إحدى معاملات بكتيريا المحيط الجذرى المحفزة للنمو إصابة الكنتالوب ببقع الأوراق الزاوية. وفى الحقل.. قللت إحدى معاملات بكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو إصابة الكنتالوب بنيماتودا تعقد الجذور *Meloidogyne incognita*، مقارنة بما حدث فى نباتات الكنترول (Kokalis – Burelle وآخرون ٢٠٠٣).

• أوضحت دراسة حول تأثير عدد من سلالات الرايزوبيم والسلالة P-93 من *Pseudomonas fluorescens* والسلالة S-21 من *Azospirillum lipoferum* (وكلتاهما من بكتيريا المحيط الجذرى) حدوث تباين معنوى فى نمو نباتات الفاصوليا باختلاف سلالة الرايزوبيم المستعملة. كما أن المعاملة ببكتيريا المحيط الجذرى — مع

بكتيريا الرايزوبيم — أحدثت زيادة جوهرية فى عدد العقد الجذرية ووزنها الجاف، والوزن الجاف للنمو الخضرى وكمية النيتروجين المثبتة من الهواء الجوى والمحصول والمحتوى البروتينى للفاصوليا (Yadegari وآخرون ٢٠١٠).

الجنس *Rhizobium*

• وجد أن تلقيح الخس والذرة بالبكتيريا المذيبة للفوسفات *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* (السلالتان P31، وR1) أحدث زيادة معنوية فى النمو النباتى، كان مردها إلى إذابة تلك البكتيريا — التى لا يمكنها المعيشة تعاونيًّا مع جذور غير البقوليات — لعنصر الفوسفور فى المحيط الجذرى للنباتات (Chabot وآخرون ١٩٩٦).

الجنس *Klebsiella*

• وجد أن السلالة TSKhA-91 من البكتيريا *Klebsiella planticola* — التى عُزلت من المحيط الجذرى لبعض الخضر — تتكاثر باستمرار، وتبقى ملتصقة بثبات بالجذور، وتسود فى المحيط الجذرى للخضر طوال فترة النمو النباتى. ولهذه السلالة قدرة عالية على تثبيت آزوت الهواء الجوى، وتقوم بتمثيل مضادات حيوية ومنشطات نمو، وتكون محاصيل الخضر التى تلقح بها أعلى إنتاجية (Temtsev ١٩٩٤).

الجنس *Entrobacter*

• وجد أن بكتيريا المحيط الجذرى *Entrobacter cloacae* (السلالة CAL3) تؤدى — حين تواجدها فى المحيط الجذرى للطماطم والفلفل — إلى تحفيز النمو، حتى مع التسميد بمحلول مغذٍ. وقد تطلب هذا التأثير المحفز تواجد الخلايا البكتيرية وهى حية (Mayak وآخرون ٢٠٠١).

أجناس بكتيرية أخرى

• وجد أن تلقيح بيئة زراعة الفاصوليا بالسلالة SAOCV2 من البكتيريا *Burkholderia cepacia* التى تقوم بإذابة الفوسفور غير العضوى وتضاد الفطرين *Fusarium oxysporium* f. sp. *phaseoli*، و*F. solani*، أن ذلك أدى إلى زيادة مستوى الفوسفور فى النباتات بنسبة ٤٤٪، وإلى زيادة محتواها من النيتروجين، مع زيادة أعداد العقد الجذرية التى تكونت بجذورها (Peix وآخرون ٢٠٠١).

• أدى تلقيح بيئة نمو شتلات الفلفل بالبكتيريا *Sinorhizobium* sp. إلى زيادة طول الشتلات ووزنها الجاف عما فى معاملة الكنترول (Russo ٢٠٠٦).

• استفادت نباتات الـ *Vigna mungo* (وهى الـ: black gram) من التلقيح بإثنتين من الـ hypersaline cyanobacterium، هما: *Phormidium tenue*، و*Bradyrhizobium* sp.، فى صورة زيادة فى النمو لم تكن أقل من تلك التى صاحبت التسميد العضوى (سبلة الماشية)، أو الكيميائى (اليوريا) (Karthikeyan وآخرون ٢٠٠٨).

• أحدث حقن شتلات الطماطم بالسلالة MT232 من البكتيريا *Agrobacterium rhizogenes* — التى تحفز تفرع النمو الجذرى — أحدث زيادة كبيرة معنوية فى النمو الجذرى للنباتات، حيث بلغت الزيادة فى الوزن الجاف للجذور ٦٤٪، مقارنة بمعاملة الشاهد. وقد اقتصر هذا التأثير على النمو الجذرى فى الثلاثين سنتيمترًا السطحية فقط من التربة، أى أنه ظل قاصرًا فقط على كتلة الجذور الأصلية التى تعرضت للعدوى بالبكتيريا. هذا.. بينما لم يكن للبكتيريا أى تأثيرات غير طبيعية على النمو الخضرى للنباتات المحقونة (Erickson وآخرون ١٩٩٠).

وفى المقابل.. دُرس تأثير ثمانى إضافات ميكروبية تجارية للتربة على نمو بادرات صنفين من الفلفل تحت ظروف البيوت المحمية والحقل، وكانت تلك الإضافات كما يلى:

Actinovate AG	Bio inoculant
Bio S. I.	Compost Tea
Mpact	PMSLA and EO-12
Soil Activator	Super Bio

واستخدم مستحلب السمك التجارى Neptune's Harvest مع كل من تلك الإضافات، ومنفردًا للمقارنة. وقد تبين أن الإضافات لم يكن لها أى تأثير مفيد على النمو النباتى تحت أى من ظروف الصوبة أو البيوت المحمية (Russo & Fish ٢٠١٢).

ولمزيد من التفاصيل المتعلقة ببكتيريا المحيط الجذرى المنشطة للنمو النباتى.. يراجع Zahir وآخرين (٢٠٠٤).

الخمائر

تبين وجود عدة أنواع من الخمائر فى المحيط الجذرى للطماطم والبطاطس والفلفل والخيار تتبع الأجناس:

Candida	*Rhodotorula*	*Torulopsis*
Debaryomyces	*Cryptococcus*	*Saccharomyces*
Lipomyces		

وقد كان أكثرها تواجدًا الجنس *Rhodotorula*.

وأدى تلقيح جذور الطماطم بمخلوط من تلك الخمائر إلى إحداث زيادة جوهرية فى كل من وزن الثمار ومحتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية، والمحصول الكلى (AbdEl-Hafaz & Shehata ٢٠٠١).

ووجد فى الفاصوليا أن تكوين عقد الرايزوبيم الجذرية بسلالات *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli* والمحصول يزدادان لدى تلقيح التربة بالخميرة *Saccharomyces cerevisiae* (Mekhemar & Al-Kahal ٢٠٠٢).

الكائنات الدقيقة الفعالة (الـ إى إم)

إن الـ إى إم (EM) هو تحضير تجارى يابانى يحتوى على أكثر من ٦٠ نوعًا من الكائنات الدقيقة الفعالة فى تنشيط النمو النباتى، ولذا.. فإن هذا التحضير يُعرف باسم effective microorganisms.

كانت بداية تطوير الـ EM فى اليابان بواسطة دكتور Tero Higa منذ أكثر من ٤٠ عامًا. ولقد نُسِب إلى الـ EM أنه يُثبط الإصابة بالأمراض والآفات، ويُذيب العناصر المعدنية فى التربة، ويُحسن من كفاءة البناء الضوئى وتثبيت النيتروجين البيولوجى. وعمومًا.. فهو ينشط النمو ويزيد المحصول ويُحسِّن من جودته. وبينما أكدت نحو ٧٠٪ من الدراسات التى أُجريت عليه فائدته للنمو النباتى، فإن ٣٠٪ منها لم تجد له تأثير معنوى (Olle & Williams ٢٠١٣).

يؤثر الـ EM إيجابيًّا على النمو من خلال محتواه العالى من كثير من الإنزيمات والأحماض العضوية ومحفزات النمو، والفلافونات، والأحماض الأمينية التى تُعد جميعًا من نواتج أيض مختلف الكائنات الدقيقة التى تتواجد بالـ EM.

تنشيط الـ إى إم

يتعين تنشيط التحضير التجارى قبل استخدامه وذلك بتركه ليتخمر لمدة سبعة أيام فى الجو الدافئ (تزيد المدة إلى ١٠-١٤ يومًا بانخفاض درجة الحرارة) مع الماء والمولاس بنسبة ٩ ماء : ٠,٥ مولاس : ٠,٥ EM بالحجم.

يجب أن تتوفر شروط معينة فى الماء الذى يستخدم عند تخمير الـ EM مع المولاس أو عند رشه على النباتات، كما يلى:

١- ألاّ يحتوى الماء على الكلور الذى يقتل البكتيريا الضارة والمفيدة على حد سواء، علمًا بأن الكائنات الدقيقة التى يحتويها الـ EM يمكنها مقاومة الكلورين حتى تركيز لا يزيد عن ٣ أجزاء فى المليون.

٢- ألاّ يحتوى الماء على أى فلورين، وهو الذى يوقف أى نشاط إنزيمى حتى ولو كان بتركيز جزء واحد فى المليون.

٣- ألاّ يحتوى الماء على أى ملوثات كيميائية أو مسببات مرضية.

وأفضل مصادر المياه للاستخدام، هى: مياه الآبار، ومياه الأمطار التى تجمع وتخزن بطريقة مناسبة، ومياه الأنهار. وأقل مصادر المياه صلاحية للاستعمال مع الـ EM هى مياه الشرب نظرًا لما تحتويه من كلورين.

المكونات الميكروبية للـ إى إم

تعتبر البكتيريا القادرة على البناء الضوئى photosynthetic bacteria هى العمود الفقرى للـ EM، حيث تعمل تداوبيًا synergistically مع الكائنات الدقيقة الأخرى لتوفير احتياجات التغذية للنباتات وتقليص مشكلة الإصابات المرضية.

وتوجد خمس مجموعات ميكروبية تستخدم فى تحضير محاليل الـ EM، وهى كما يلى:

١- البكتيريا التى تقوم بعملية البناء الضوئى

تُعرف هذه البكتيريا بالإسمين photosynthetic bacteria، و phototrophic bacteria، وهى تعتمد على ذاتها فى تحضير غذائها. تقوم هذه البكتيريا بتمثيل الأحماض الأمينية، والأحماض النووية، والمواد التى تتفاعل بيولوجيًا، والسكريات، وذلك من إفرازات الجذور، والمواد العضوية باستعمال الأشعة الشمسية وحرارة التربة كمصادر للطاقة. كما يمكنها استعمال الطاقة من الأشعة تحت الحمراء للأشعة الشمسية

بين ٧٠٠، و١٢٠٠ نانوميتر لإنتاج المادة العضوية، بينما لا يمكن للنباتات ذلك. وتستفيد النباتات من نشاط تلك البكتيريا حيث تمتص النباتات منتجاتها الأيضية مباشرة، كما تُستخدم كمواد أولية لبكتيريا التربة؛ مما يزيد من التنوع البيولوجى لكائنات التربة الدقيقة، وزيادة نشاط الكائنات الدقيقة الأخرى التى توجد بالـ EM.

يؤدى تواجد ونشاط تلك البكتيريا إلى زيادة نشاط الميكوريزا (VAM) فى المخيط الجذرى بسبب توفيرها للمركبات النيتروجينية (الأحماض الأمينية) لاستعمال الميكوريزا، وهى التى تنتج كإفراز للـ phototrophic bacteria. وتؤدى زيادة نشاط الميكوريزا إلى زيادة تيسر الفوسفور فى التربة. ويمكن للميكوريزا أن تتواجد مع بكتيريا الآزوتوباكتر Azotobacter كبكتيريا مثبتة لآزوت الهواء الجوى.

ومن البكتيريا القادرة على البناء الضوئى، ما يلى:

Rhodopseudomonas palustris (ACTCC17001).

Rhodobacter sphaeroides (ACTCC17023).

٢- بكتيريا حامض اللاكتيك

تقوم بكتيريا حامض اللاكتيك lactic acid bacteria بإنتاج حامض اللاكتيك من السكريات، وهو الذى يعد معقمًا قويًا، مما يعنى تثبيت الكائنات الدقيقة الضارة، كما أنه يؤدى إلى زيادة سرعة تحلل المادة العضوية مثل اللجنين والسيليلوز. ويمكن لبكتيريا حامض اللاكتيك تثبيط تكاثر فطر الفيوزاريم.

ومن بكتيريا حامض اللاكتيك، ما يلى:

Lactobacillus plantarum (ACTCC8014)

Lactobacillus casei (ACTCC7469)

Streptococcus lactis (IFO12007)

٣- الخمائر

تقوم الخمائر yeasts بتمثيل مركبات مضادة للكائنات الدقيقة، وذلك اعتمادًا على الأحماض الأمينية والسكريات التى تفرزها الـ photosynthetic bacteria، وعلى المادة العضوية. كذلك فإن المواد النشطة بيولوجيًّا مثل الهرمونات والإنزيمات التى تنتجها الخمائر تُحفز الانقسام النشط لخلايا الجذور، كما تستفيد من إفرازاتها الكائنات المفيدة الأخرى، مثل بكتيريا حامض اللاكتيك والأكتينوميسيتات actinomycetes.

ومن الخمائر، ما يلى:

Saccharomyces cerevisiae (IFOO203).

Candida utilis (IFOO 619).

٤- الأكتينوميسيتات

إن الأكتيوميسيتات actinomycetes كائنات دقيقة تعد وسطًا فى تركيبها بين البكتيريا والفطريات، وتنتج مضادات ميكروبية من الأحماض الأمينية التى تتحصل عليها من الـ photosynthetic bacteria والمواد العضوية. وهذه المضادات الميكروبية تثبط نشاط ونمو البكتيريا والفطريات. ويمكن للأكتينوميسيتات أن تتواجد مع الـ photosynthetic bacteria.

ومن أمثلة الأكتينوميسيتات، ما يلى:

Streptomyces albus (ATCC3004).

Streptomyces griseus (IFO 358)

٥- الفطريات المخمِّرة

من أمثلة الفطريات المخمِّرة Fermenting fungi: الـ *Aspergillus*، والـ *Penicillium*، وهى تحلل المادة العضوية سريعًا، منتجة كحول، وإسترات،

ومضادات ميكروبية.

ومن أمثلة الفطريات المخمرة، ما يلى:

Aspergillus oryzae (IFO5770).

Mucor hiemalis (IFO8567).

٦- بكتيريا مثبتة لآزوت الهواء الجوى.

٧- أنواع بكتيرية أخرى (عن Kato وآخرين١٩٩٩، وGolec وآخرين ٢٠٠٧).

طرق المعاملة بالـ إى إم

يمكن المعاملة بالـ EM بأى من الطرق الآتية:

١- معاملة البذور قبل الزراعة بترطيبها، أو نقعها — إن أمكن — فى الـ EM.

٢- معاملة بيئات الزراعة قبل استعمالها فى إنتاج الشتلات أو النمو المحصولى:

تستفيد النباتات — كثيرًا — من تلقيح بيئات الزراعة المعقمة بالـ EM؛ ذلك لأن بيئات النمو المعقمة تكون عرضة أكثر من غيرها لأن تستعمرها المسببات المرضية، بينما يمكن للكائنات الدقيقة المفيدة فى الـ EM القيام بهذا الدور؛ مما يترتب عليه تقليل فرصة الكائنات المرضة فى النمو. ولذلك أهميته فى كل من بيئات المشاتل وبيئات الإنتاج المحصولى فى الزراعات المحمية.

٣- رش الشتلات قبل شتلها، ورش النموات الخضرية فى الحقل:

يُفضل الرش بالـ EM إما فى الصباح الباكر (قبل العاشرة صباحًا) وإما متأخرًا بعد الظهر (بعد الرابعة مساءً). ويفضل أن تكون الحرارة معتدلة (أقل من ٢٧ °م) والرطوبة عالية والرياح ساكنة (حتى تكون الثغور مفتوحة)، علمًا بأن وجود الندى على الأوراق يُساعد فى عملية التغذية الورقية. كما يجب أن يصل محلول الرش إلى السطح السفلى للأوراق.

ويمكن المعاملة رشًا بمخلوط من الـ EM ومستخلص الكمبوست. تستفيد النباتات من الرش بصورة مباشرة، فضلاً عن أن ما يتقاطر على التربة من الـ EM يفيد – كذلك– فى تلقيحها بالكائنات الدقيقة المفيدة. ويفيد تكرار الرش خلال موسم النمو فى توفير حماية للنباتات من الإصابات المرضية.

٤– معاملة التربة:

إن إضافة الـ EM إلى التربة تهيئ الظروف الملائمة لنمو ونشاط الكائنات الدقيقة الأخرى المفيدة، والديدان الأرضية للنمو؛ مما يعيد التوازن للحياة فى التربة. وعندما يقترن ذلك بإضافة المواد العضوية فإن التربة تصبح مثبطة للأمراض والآفات، ويساعد فى سرعة تحول البقايا النباتية إلى دبال.

عند إضافة الـ EM إلى التربة يتعين بل التربة حتى عمق ٧,٥– ١٠سم، لضمان وصول الكائنات الدقيقة المفيدة إلى منطقة نمو الجذور.

ويتعين تكرار معاملة التربة بالـ EM خلال السنتين الأولى والثانية من بدء المعاملة لتأمين تواجد أعداد كافية من الكائنات الدقيقة فى التربة، تقلل – فيما بعد – الحاجة إلى تكرار المعاملة عدة مرات سنويًا. ويفضل خلال السنتين الأولى والثانية أن تكون المعاملة بمعدل حوالى ١٥٠ لتر من الـ EM المنشط (أى حوالى ٧,٥ لتر من الـ EM الخام) لكل فدان سنويًا. ومع مرور الوقت فإن الـ EM يعمل على تحسين بناء التربة واحتفاظها بالرطوبة وتوفير العناصر؛ بما يسمح بتقليل إضافته.

<http://www.emamerica.com/data/household/soil-treatment/ >.

٥– معاملة الكمبوست أثناء تجهيزه:

إن إضافة الـ EM إلى الكمبوست أثناء تجهيزه تؤدى إلى خفض نسبة الكربون إلى النيتروجين به إلى ١٥ :١ مقارنة بنسبة ١٨ : ١ التى تكون فى الكمبوست غير المعامل بالـ EM. كذلك يكون الكومبوست المعامل غنيًا بالأكيتنوميسيتات actinomycetes

وبالـ Pseudomonads.

٦- رش نباتات الأسمدة الخضراء بالـ EM قبل قلبها فى التربة؛ لأن ذلك يُعجِّل بتحويل النموات الخضراء إلى دبال.

مزايا المعاملة بالـ إى إم وأمثلة

تفيد المعاملة بالـ EM فى تحقيق المزايا التالية:

١- يفيد الـ EM فى إنتاج الأحماض الأمينية التى تعد مصدرًا بطئ التيسر للآزوت لا يكون سريع الفقد مثلما يكون عليه الحال مع النترات.

٢- بناء تجمعات التربة:

إن تجمعات التربة تتكون من معادن الطين التى تلتصق بعضها ببعض بواسطة الإفرازات التى تنتجها بكتيريا التربة أثناء نشاطها. ومن المعروف أن الـ EM ينتج مستويات عالية من عديدات التسكر، والإنزيمات، والأحماض العضوية، وجميعها يفيد فى بناء تجمعات ثابتة لحبيبات التربة.

٣- قد تلعب الكائنات الدقيقة التى تتوفر فى الـ إى إم دورًا فى حثٍّ المقاومة الجهازية فى النباتات ضد بعض الإصابات المرضية.

٤- أدت المعاملة بالـ EM مع المولاس بمعدل ٢,٤ لتر للفدان فى ١٠م٣ من ماء الرى، ثلاث مرات للبصل، ومرتان للبسلة، وسبع مرات للذرة السكرية إلى زيادة المحصول بنسبة ٢٩٪، و٣١٪، و٢٣٪ للمحاصيل الثلاثة، على التوالى (Daly & Stewart ١٩٩٩).

٥- أدت إضافة الـ EM للمادة العضوية فى التربة، بالإضافة إلى رشتين بالـ EM إلى إعطاء أعلى محصول من الفاصوليا والطماطم، وتلت تلك المعاملة — مباشرة وبفروق قليلة فى المحصول — إضافة الـ EM إلى الكمبوست أثناء تجهيزه وقبل إضافته للتربة، مع رشتى الـ EM. ويتضح من ذلك أهمية إضافة الـ EM إلى المادة العضوية أثناء تحللها فى

الحقل، وكذلك أهمية الرش بالـ EM (Sangakkara & Marambe ١٩٩٩).

٦- أدت معاملة السماد العضوى المستخدم فى تسميد الطماطم بالـ EM، أو إضافة الـ EM إلى التربة مباشرة إلى زيادة محصول الطماطم وتحسين نوعية الثمار من حيث محتواها من الأحماض العضوية وفيتامين ج، كما أدت تلك المعاملة إلى زيادة معدل البناء الضوئى بالأوراق (Xu وآخرون ٢٠٠٠).

٧- أدت معاملة الفراولة الفريجو بالـ EM بمعدل لترين للفدان إلى إحداث زيادات جوهرية فى كلٍ من ارتفاع النباتات، وعدد الأوراق، وطول الجذور، والوزن الجاف للنموين الجذرى والخضرى، ومستوى الكلوروفيل، ومحتوى النباتات من كل من المواد الكربوهيدراتية الكلية، والنيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، ومحصول الثمار، وذلك مقارنة بتلك القياسات فى نباتات الكنترول (El-Gamal وآخرين ٢٠٠٧).

دراسة تفيد عدم جدوى المعاملة بالـ إى إم

يُستفاد من دراسة أجريت على المعاملة بالـ EM فى هولندا أنه لم يكن مؤثرًا، ولم يكن استعماله مجديًا. كذلك ناقشت الورقة ظروف وطريقة إجراء الدراسات التى سبق إجراؤها على الـ EM وتوصلت إلى أن جميع هذه الدراسات شابها أخطاء فى تصميمها، وأن بعضها لم يخضع لأى تحليل إحصائى؛ بما يعنى عدم صحة النتائج التى توصلت إليها (Golec وآخرون ٢٠٠٧).

الـ إى إم بروبايوتك

أنتجت التكنولوجيا اليابانية فى عام ١٩٨٢ منتجًا تجاريًّا آخر يعرف باسم pro EM1 Probiotic، وهو يحمل اسمًا شبيهًا بالـ EM، إلا أنه يختلف عنه؛ فهو يختلف قليلاً فى محتواه من الكائنات الدقيقة، ويحضر بطريقة مختلفة، كما لا يمكن تنشيطه مثلما ينشط الـ EM بالمولاس.

ويحتوى الـ Pro EM1 Probiotic على ما لا يقل عن مليون وحدة مكونة

للمستعمرات CFU بكل ملليلتر، من الكائنات الدقيقة التالية:

Lactobacillus plantarum

L. casei

L. fermentus

L. bulgaricus

Saccharomyces cerevisiae

Rhodopseudomonas palustris

الميكوريزا

تعريف الميكوريزا

يطلق اسم ميكوريزا Mycorrhizae (وليس ميكورهيزا، ولا ميكورهيزا) — مجازًا— على مجموعة من الفطريات التى تعرف باسم"Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae" (اختصارًا: VAM)، وهى من الفطريات الطحلبية Phycomycetes، وتنتمى إلى عائلة Endogonaceae، وتعيش معيشة تعاونية مع جذور النباتات. وتعد هذه الفطريات من المتطفلات الإجبارية Obligate Parasites التى لا يمكن زراعتها على بيئات صناعية، فهى لا تنمو إلا مع عوائلها.

وقد ذكرنا أن كلمة "ميكوريزا" تطلق — مجازًا — على هذه الفطريات؛ ذلك لأنها مصطلح يصف العلاقة بين هذه الفطريات وجذور النباتات الراقية.

وقد جاء المصطلح من علاقة تبادل المنفعة بين الفطريات (الاسم اليونانى mukes)، والجذور الحية (الاسم اليونانى rhiza)؛ ومن ثم المصطلح "Mycorrhizae".

انتشار الميكوريزا وتطفلها

تمثل الميكوريزا mycorrhizas أكثر العلاقات انتشارًا بين الكائنات الدقيقة والنباتات الراقية. وعلى المستوى العالمى.. تُعرف تلك العلاقة فى ٨٣٪ من ذوات الفلقتين، و٧٩٪ من ذوات الفلقة الواحدة، كما تُعرف فى جميع معراة البذور. ولا تتوفر تلك العلاقة فى البيئات التى تكون فيها التربة إما شديدة الجفاف، أو شديدة الملوحة، أو غدقة بشدة، أو مبعثرة بشدة جراء تعرضها لأنشطة معينة مثل التعدين، أو عالية الخصوبة بشدة، أو قليلة الخصوبة بشدة. كذلك لا تُعرف تلك العلاقة فى جميع نباتات العائلتين: الصليبية والرمرامية، وكثير من نباتات العائلة Proteaceae.

توجد جراثيم الميكوريزا فى معظم الأراضى، ولكنها لا تنبت إلا عند تواجدها بالقرب من جذور عائل مناسب لها. وإذا لم يخترق الميسيليوم الحديث التكوين جذرًا لأحد العوائل المناسبة فإنه يموت. ولكن ما إن يتصل الفطر بيولوجيًّا بجذر عائلة إلا ويكوّن نموًا كثيفًا خارج الجذر (عن White ١٩٨٧).

وكقاعدة.. فإن فطر الميكوريزا يعتمد بقوة أو كليًّا على النبات فى غذائه، بينما قد يستفيد النبات من الفطر أو لا يستفيد. ولا تكون تلك العلاقة أساسية وحتمية إلاّ فى حالات السحلبيات (الـ orchids). وبذا.. فإن علاقات الميكوريزا تكون إما بتبادل المنفعة mutualistic، وإما محايدة neutral، وإما طفيلية parastic تبعًا للحالة. هذا إلا أن علاقة تبادل المنفعة هى التى تسود؛ ولذا.. يُشار إلى العلاقة باسم mycorrhizal symbiosis. وفى تلك العلاقات لا يكون للعائل النباتى دورًا يذكر فى تنظيم استعمار الميكوريزا للجذور وما تحصل عليه الميكوريزا من غذاء من النبات (Marschner ١٩٩٥).

هذا.. ولا يوجد تخصص يذكر من جانب الفطر للمعيشة تعاونيًّا مع عوائل معينة، بعكس الحال بين بكتيريا تثبيت آزوت الهواء الجوى – من جنس *Rhizobium*– والبقوليات.

وبالرغم من توفر الميكوريزا فى جميع أنواع الأراضى، إلا أنها تتفاوت كثيرًا فى كفاءة أجناسها، وأنواعها، وسلالاتها؛ لذا.. يتعين تلقيح التربة أو النباتات بالأنواع والسلالات العالية الكفاءة منها.

ولقد لوحظ أن فطر الميكوريزا *Glomus deserticola* يبدأ فى تكوين علاقة تبادل المنفعة مع جذور البصل بعد ثلاثة أيام من تلقيح النباتات بالفطر، ويستكمل الفطر توطيد علاقته مع نحو ٥٠٪ من النمو الجذرى بعد ٢١ يومًا. وبالمقارنة .. فإن بداية تكوين الفطرين *G. mosseae*، و *G. intraradices* لعلاقتهما بجذور البصل تتأخر إلى اليوم الثانى عشر من التلقيح بالفطر، وتصل إلى ١٥٪، و ٣٧٪ فى اليوم الحادى والعشرين — فى الفطرين — على التوالى.

وبينما حسّنت فطريات الميكوريزا نمو البصل فى التربة المعقمة — عندما كان تلقيح التربة بالفطر تحت البذور— فإنها لم تحفز النمو النباتى فى التربة غير المعقمة.

ولا يمكن للميكوريزا (الـ VAM) أن تشكل علاقة مع جذور بعض النباتات، مثل أنواع العائلتين الرمرامية والصليبية، ربما بسبب محتوى إفرازات جذورها، وما قد يوجد بها من سموم للميكوريزا، وربما بسبب زيادة تفاعلاتها الدفاعية ضد استعمار الميكوريزا لجذورها.

تقسيم الميكوريزا

توجد الميكوريزا فى الطبيعة فى ثلاثة طرز؛ كما يلى:

١- ميكوريزا داخلية Endomycorrhizae

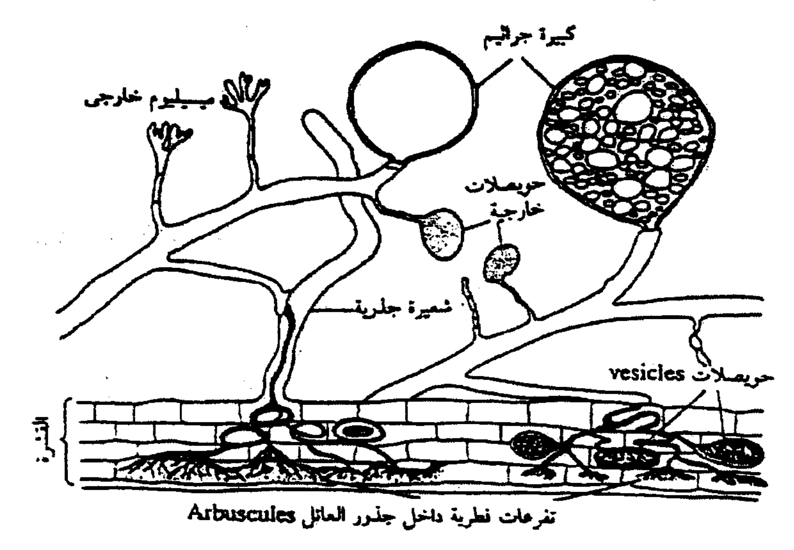
تعد الميكوريزا الداخلية أكثر طرز الميكوريزا شيوعًا فى الطبيعة، وفيها تمتد الهيفات الفطرية من التربة إلى خلايا القشرة بجذور النباتات منتجة تراكيب داخلية تعرف باسم vesicles — وهى حويصلات تخزين — وتراكيب أخرى تعرف باسم arbuscles — وهى تراكيب شديدة التفرع توجد داخل الجذور النباتية — وهى التى تقوم بمهمة تبادل

العناصر الغذائية بين الفطر والنبات؛ وذلك هو الطراز الذى يعرف باسم -Vesicular Arbuscular Mycorrhizae (شكل ١٣-٢).

إن الـ Arbusules عبارة عن تراكيب تتكون داخل الخلايا النباتية — تشبه الممصات — وتنشأ بتكرار الانقسام الثنائى الشعبة لهيفات الفطر. وهى تراكيب يمكن مشاهدتها بالميكروسكوب الضوئى، ولا تُعمِّر طويلاً، حيث تبقى لفترة تتراوح بين أسبوع واحد وثلاثة أسابيع.

٢- ميكوريزا خارجية Ectomycorrhizae

تكوّن فطريات الميكوريزا الخارجية نموًا كثيفًا يغطى جذور النباتات بسمك ٠,٠٥مم، وتغزو المسافات بين خلايا القشرة، مكونة شبكة تعرف باسم Hartig Net، ولكنها لا تخترق خلايا النبات العائل. وعند تواجد هذه الفطريات وارتباطها بالعائل تختفى الشعيرات الجذرية تمامًا؛ حيث تقوم بعملها الهيفات الفطرية (عن Nadakavukaren & McCracken ١٩٨٥).



شكل (١٣-٢): نمو الـ Vesicular-Arbuscular Mycirrhizae خارج وداخل خلايا العائل (عن White ١٩٨٧).

تتعايش هذه الفطريات بكثرة مع جذور الأشجار؛ مثل الصنوبريات، والكافور، والحور وغيرها، وتلعب دورًا كبيرًا فى امتصاص العناصر الغذائية من التربة وتوفيرها للنبات.

٣- ميكوريزا خارجية داخلية Ectendomychorrhizae

وفيها يُظهر الفطر جانبًا من صفات كلّ من الميكوريزا الداخلية والخارجية معًا.

وقد بنى التقسيم السابق للميكوريزا على أساس قدرة الفطر على اختراق خلايا العائل، وتكوين مختلف التراكيب.

وبناء على تقسيم أحدث من التقسيم المتقدم، فإن الميكوريزا تُقسم إلى سبعة طرز؛ هى:

Vesicular-Arbuscilar Mycorrhizae

Ectomycorrhizae

Ectendomycorrhizae

Arbutoid Mycorrhizae

Ericoid Mycorrhizae

Monotropid Mycorrhizae

Orchid Mycorrhizae

وتعد الـ Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae (اختصارًا: VAM) الطراز الوحيد المعروف فى محاصيل الخضر؛ وهى تتميز بجميع صفات الميكوريزا الداخلية التى سبق بيانها فى التقسيم السابق.

ويعنى بالـ VAM – كما أسلفنا – "العلاقات الميكوريزية التى تنشأ بين فطريات

طحلبية Phycomycestes من عائلة Endogonaceae والنباتات".

وتنتمى فطريات الـ VAM إلى خمسة أجناس، هى: *Acaulospora*، و*Entrophospora*، *Gigaspora*، و*Glomus*، و*Sclerocystis* (عن Miller وآخرين ١٩٨٦).

أهمية الميكوريزا

لوحظت علاقة تبادل المنفعة بين فطريات الميكوريزا ومعظم النباتات الراقية (وحتى بعض النباتات الدنيئة)، بما فى ذلك معظم الخضر – ما عدا الصليبيات والرمراميات – إلى درجة أن بعض الخضر لا يمكنها النمو بصورة طبيعية فى غياب الميكوريزا. ومن أكثر الخضر اعتمادًا على الميكوريزا فى نموها: البصل (الذى لا تحتوى جذوره على كثيرٍ من الشعيرات الجذرية)، والطماطم، والبطاطس، واللوبيا، والذرة السكرية، وفول الصويا.

يقوم النبات بتوفير المواد الكربوهيدراتية – وربما الفيتامينات – للفطريات، بينما يستفيد النبات – بدوره – من هذه الفطريات؛ إذ إنها تعمل على:

١–زيادة معدل امتصاص العناصر من التربة – سواء أكانت فى صورة ميسرة، أم غير ميسرة لامتصاص النبات – ثم نقلها إلى النبات، وخاصة عناصر: النيتروجين، والفوسفور، والبوتاسيوم، والكالسيوم، والكبريت، والزنك، والنحاس، والموليبدنم.

٢–زيادة مقاومة النباتات للأمراض؛ فقد وجد – مثلاً – أن فطر الميكوريزا *Glomus fasciculatum* أحْدَثَ تراكمًا للفيتوألاكسينات Phytoalexins (وهى مركبات توقف أو تثبط نمو مسببات الأمراض فى الأنسجة المصابة)، فى جذور البسلة؛ مما أدى إلى مقاومتها للفطر *Fusarium oxysporum* مسبب مرض الذبول الفيوزارى.

٣–زيادة تحمل النباتات لظروف الملوحة والجفاف.

٤–زيادة قدرة البقوليات على تثبيت آزوت الهواء الجوى (عن Miller وآخرين ١٩٨٦، و Sundaresan وآخرين ١٩٩٣).

٥- إفراز بعض منظمات النمو التى تحفز النمو النباتى.

٦- توفير حماية للنباتات من التسمم بالتركيزات العالية من العناصر المغذية الضرورية بما تفرزه من مركبات قد تكوّن تراكيب معقدة مع تلك العناصر وتجعلها غير ميسرة للنبات.

وتزداد أهمية الميكوريزا للنباتات فى الأراضى الفقيرة عنها فى الأراضى الخصبة، وخاصة فى المناطق الاستوائية.

إن فطريات الميكوريزا (VAM) تُحسّن النمو النباتى من خلال زيادة امتصاص النباتات للفوسفور، وخفض الأمراض التى تعيش مسبباتها فى التربة، وزيادة قدرة النمو النباتى والبقاء، وتقليل أضرار الشتلات. ويوجد حد أدنى لعدد جراثيم الميكوريزا التى تجب إضافتها لكل نبات، وقد قدر هذا العدد فى الفراولة بنحو ٧٥٠ جرثومة من الفطر *Glomus intraradices* (De Silva وآخرون ١٩٩٦).

أهمية الميكوريزا فى توفير العناصر الضرورية للنبات وتحسين النمو والمحصول

إن الهيفات الخارجية التى تغطى الجذور توفر زيادة فى حيز التربة الذى تُمتص منه العناصر. كما أن ميسيلوم الفطر يقوم بتخزين الفوسفور فى أنسجته إلى أن يحصل عليه النبات عند نقص العنصر. هذا بالإضافة إلى أن الجذور التى تكون على اتصال بالميكوريزا تعيش لفترة أطول، وتستمر فى امتصاص الفوسفور لفترة أطول إذا قورنت بالجذور التى ليست على اتصال بالميكوريزا.

إن من أهم فوائد الميكوريزا تحفيزها حصول النباتات التى تتعايش معها على العناصر قليلة التحرك فى التربة، وخاصة الفوسفور، وعديد من العناصر الدقيقة. تمتص الميكوريزا الفوسفور غير العضوى إما من ذلك المتوفر بها، وإما من الصور غير الذائبة مثل تلك التى توجد فى صخر الفوسفات، وكذلك من الصور العضوية غير الذائبة. ولقد أوضحت الدراسات الحديثة نسبيًا أن فطريات الميكوريزا تحصل على الفوسفور من صخر الفوسفات

من خلال إحداثها لتغيرات موضعية فى الـ pH، أو من خلال إنتاجها لأنيونات أحماض عضوية يمكن أن تعمل كعوامل مخلبية.

كذلك تؤثر الميكوريزا إيجابيًّا فى حصول النبات على النيتروجين، ويكون تأثيرها أوضح عندما يتوفر النيتروجين فى صورة أمونيوم NH_4^+، عما يكون عليه الحال عندما يكون توفر النيتروجين فى صورة نترات NO_3^-. ولكن تزداد أهمية الميكوريزا فى الحالة الأخيرة — أيضًا — تحت ظروف الجفاف، حيث تكون حركة النترات فى التربة ضعيفة (Javaid ٢٠٠٩).

تفيد المعاملة بالميكوريزا (عدة أنواع من الجنس *Glomus*، مثل *G. masseae*) فى توفير عنصرى الفوسفور والزنك للنباتات فى الأراضى الفقيرة فى العنصرين (Ortas وآخرون ٢٠١١).

ويمكن لفطريات الميكوريزا الحصول على الفوسفور من مصادر عضوية غير ميسرة لامتصاص النبات؛ فمثلاً.. استجابت نباتات الطماطم — المتصلة بفطر الميكوريزا — جيدًا للتسميد بكميات ضئيلة من مسحوق العظام غير الذائب نسبيًّا. ولم تحدث استجابات مماثلة لنباتات الطماطم — غير المتصلة بفطر الميكوريزا — إلا بعد إضافة كميات من مسحوق العظام بلغت ١٦ ضعف الكمية السابقة.

ويبدو أن هيفات الفطر تلعب دورًا نشطًا — يعتمد على بذل الطاقة — فى امتصاص الفوسفور من التربة (عن Miller وآخرين ١٩٨٦).

ويتفق العلماء المشتغلون بالميكوريزا Mycorrhizasts على أن الزيادة فى النمو النباتى التى تلاحظ على النباتات التى تعيش تعاونيًّا مع فطريات الميكوريزا مردها إلى توفر الفوسفور للنباتات.

وتفرز الكائنات الدقيقة التى تعيش فى التربة إنزيمات تساعد على تحلل المواد العضوية وتيسر ما يوجد فيها من عناصر؛ مثل عنصر الفوسفور الذى يتيسر منها بفعل إنزيم

Phosphatase. كما أن الميكوريزا تفرز كذلك "جزيئات حاملة" carrier molecules تكوِّن معقدات مع مختلف الذرات أو الجزيئات؛ فيكون من السهل على النباتات امتصاصها (عن Chrispeels & Sadava ١٩٩٤).

وللميكوريزا أهمية خاصة بالنسبة لأشجار الغابات؛ حيث توفر لها معظم احتياجاتها من العناصر المغذية من صور تلك العناصر غير الميسرة لامتصاص النبات التي توجد في التربة. ولا يمكن لبعض الأنواع النباتية - مثل الصنوبريات - النمو في غياب الميكوريزا. وعند زراعة هذه الأشجار في أرضٍ جديدة - لم تكن مزروعة بالصنوبريات من قبل - يتعين تلقيحها بميكوريزا من أرضٍ تنمو فيها صنوبريات.

وتوجد علاقة سالبة بين كمية الفوسفور الميسرة لاستعمال النبات في التربة ومدى قدرة فطريات الميكوريزا على توطيد علاقتها البيولوجية بالنبات (White ١٩٨٧).

فمثلاً.. وجد Waterer & Coltman (١٩٨٨) أن زيادة مستوى الفوسفور الميسر لبادرات الطماطم والبصل - إما بزيادة توفير الفوسفور، وإما بتقليص الفترة بين إضافات الفوسفور - أدت إلى زيادة الوزن الطازج للنباتات، وتركيز الفوسفور بالنمو الخضري، ولكنها أثرت - سلبًا - في إصابة الجذور بفطر الميكوريزا *Glomus aggregatum*. كما أن العدوى بالفطر أنقصت الوزن الطازج للنمو الخضري للطماطم عندما كان مستوى توفر الفوسفور عاليًا.

وربما يُفسِّر هذا المسلك لفطريات الميكوريزا تعرض النباتات المسمدة جيدًا بالفوسفور في الأراضي القلوية - لنقص عنصر الزنك والنحاس؛ حيث لا تتوفر حينئذٍ - مع التسميد الفوسفاتي الجيد - الميكوريزا التي يمكنها توفير الزنك والنحاس للنباتات (عن White ١٩٨٧).

وقد أجرى Khasa وآخرون (١٩٩٢) دراسة على ١٩ نوعًا نباتيًّا من الأنواع المزروعة في زائير، تبين منها استجابة جميع الأنواع - ما عدا القطيفة amaranth - للتلقيح

بالميكوريزا الداخلية Endomycorrhizal fungi تحت ظروف الحقل. واعتمد النمو الطبيعى لثمانية أنواع منها — بشدة — على تواجد الميكوريزا، وقد تضمنت القائمة — من محاصيل الخضر — فاصوليا اليام الأفريقية *Sphenostylis stenocarpa*، وفاصوليا المنج *Vigna vexillata*، والبصل، والبطاطا، والطماطم، والكاسافا.

وتؤكد دراسات Azcon-Aguilar وآخرون (١٩٩٣) تساوى محصول نباتات البصل الملقحة بفطر الميكوريزا *Glomus fasciculatum* وغير المسمدة بالفوسفور مع تلك التى لم تلقح بالفطر، ولكنها حصلت على مستوى معين من السماد الفوسفاتي. وإلى جانب ذلك.. كان تركيز النيتروجين ومحتواه فى النموات الخضرية للنباتات الملقحة بالميكوريزا أكثر مما فى النباتات غير الملقحة والمسمدة بالفوسفور. وقد استنتج الباحثون أن فطريات الميكوريزا قادرة على الاستفادة من النيتروجين المتوفر فى مصادر أقل تيسرًا للنباتات.

كما أكدت دراسات Tobar وآخرون (١٩٩٤) على الخس أن فطرى الميكوريزا *Glomus mosseae*، و *G. fasciculatum* يعملان على زيادة قدرة النبات على امتصاص النيتروجين والفوسفور فى ظروف الجفاف.

كذلك وجد Martensson & Rydberg (١٩٩٤) اختلافًا بين أصناف البسلة فى استجابتها للفطرين *Glomus fasiculatum*، و *G. caledonium*؛ حيث وجدت علاقة سالبة بين معدل الإصابة بأى من الفطرين وطول الجذور.

وكان الارتباط واضحًا بين الإصابة وكلٍّ من امتصاص النباتات للنيتروجين فى المراحل المبكرة للنمو (وليس فى المراحل المتأخرة)، وامتصاصها للفوسفور فى المراحل المتأخرة للنمو (وليس فى المراحل المبكرة).

كذلك فإن تسميد البادرات جيدًا بالفوسفور يؤدى إلى زيادة مستوى العنصر فى جذور النباتات؛ الأمر الذى يؤثر سلبيًا على قابليتها للإصابة بهذه الفطريات (عن Waterer & Coltman ١٩٨٨)، كما يزداد الفوسفور فى إفرازات الجذور؛ الأمر الذى يؤثر بدوره سلبيًا على نمو هيفات الفطر فى التربة (Tawaraya وآخرون ١٩٩٦).

ووجد McArthur & Knowles (١٩٩٢) أن إصابة جذور البطاطس بفطر الميكوريزا *Glomus fasciculatum* كان شديدًا فى المستويات المنخفضة من السماد الفوسفاتى، وأدى الفطر إلى تحفيز النمو الخضرى للنباتات تحت تلك الظروف.

كما أدت المعاملة بالميكوريزا *Glomus intraradices* إلى إحداث تحسن واضح فى النمو النباتى للمحاصيل التى عوملت بها، والتى شملت الخس ، والفراولة، والهندباء (Di Bonito وآخرون ١٩٩٥).

كذلك حققت المعاملة بفطريات الميكوريزا (VAM) زيادة فى المحصول قدرت بنحو ٧٠٪ فى البصل، و٤٨٪ فى البطاطس، و٣٠٪ فى الثوم، علمًا بأن استعمار الميكوريزا للجذور بلغ فى تلك الدراسة ٨٥٪ فى البصل، و٦٥٪ فى كل من البطاطس والثوم (Gaur & Adholeya ٢٠٠٠).

وفى المقابل.. لم تكن لمعاملة جذور شتلات الطماطم بغمسها فى مُنتج الميكوريزا التجارى Mycoroot قبل شتلها فى مزرعة مائية أى تأثير على معدل النمو النباتى أو محصول الثمار أو تركيز العناصر بالثمار (Maboko وآخرون ٢٠١٣).

وقد أدى التلقيح بأى من نوعى الميكوريزا *Glomus etunicatum*، أو *Glomus intraradices* إلى تحسين نمو بادرات كل من بصل ويلز والأسبرجس والبسلة والكرفس والخيار، مع تفاوت مقدار التحسين فى النمو على كل من نوع الميكوريزا والنوع المحصولى. وقد أدت الميكوريزا إلى زيادة سمك قواعد وأنصال أوراق بصل ويلز، وإلى تحسين نمو التيجان والنموات الهوائية فى الأسبرجس، كذلك ازداد الوزن الطازج لكل من النمو الجذرى والخضرى مع التلقيح بالميكوريزا. وفى معظم الخضر المعاملة كانت الزيادة فى الوزن الطازج للجذور بسبب حدوث زيادة فى أعدادها، لكنها كانت فى بصل ويلز والأسبرجس بسبب الزيادة فى سمك الجذور الرئيسية إضافة إلى الزيادة فى أعداد الجذور (Matsubara وآخرون ١٩٩٤).

الفلفل

أثبتت دراسات Babu وآخرون (١٩٨٨) على الفلفل أن عدوى النباتات فى المشتل بأى من فطريات الميكوريزا *Gigaspora calospora*، أو *Gigaspora margarita*، أو *Glomus fasciculatum* يمكن أن تؤدى إلى الاستغناء عن ٥٠٪ – ٧٥٪ من الأسمدة الفوسفاتية الموصى بها.

وقد وجد أن معاملة بادرات الفلفل فى المشتل بفطر الميكوريزا *Glomus aggregatum* أدت – عند شتل النباتات فى أرض فقيرة فى محتواها من الفوسفور – إلى زيادة محتوى النباتات من الفوسفور، وإلى زيادة طول النبات، والنمو الخضرى، ومحصول الثمار، مقارنة بنباتات الكنترول التى لم تعامل بالفطر، كما جعلت تأثر المحصول سلبيًّا بنقص الرطوبة الأرضية أقل مما فى نباتات الكنترول، وكانت تلك التأثيرات أقوى عند الحقن بفطر الميكوريزا فى المشتل عما كان عليه الحال عندما حقنت النباتات بالفطر أثناء الشتل (Waterer & Coltman ١٩٨٩).

كما وجد أنه يمكن خفض معدل التسميد الفوسفاتى (بالسوبر فوسفات) إلى النصف عند عدوى (تلقيح) شتلات الفلفل بالميكوريزا *Glomus fasciculatum*، و *G. macrocarpum*، كما أدت المعاملة إلى زيادة المحصول، وتركيز الفوسفور فى النموات الخضرية، وزيادة امتصاص الزنك، والنحاس، والمنجنيز، والحديد مقارنة بالكنترول. وقد كان فطر الميكوريزا *G. macrocarpum* أكثر تأثيرًا من *G. fasciculatum* (Sreenivasa وآخرون ١٩٩٣). وقد ازداد مفعول تأثير فطر الميكوريزا *G. macrocarpum* عندما أضيفت الأسمدة العضوية للتربة، وخاصة تلك التى تنخفض فيها نسبة الكربون إلى النيتروجين (Sreenivasa ١٩٩٤).

كذلك وُجد أن زراعة الفلفل فى تربة محقونة بأى من فطريات الميكوريزا *Glomus epigalum*، أو *G. mosseae* أدت إلى زيادة النمو النباتى (طول النبات، وعدد الأوراق بالنبات، وقطر الساق، والوزن الجاف للنبات)، وإلى زيادة تحمل الحرارة المنخفضة، والتبكير

فى الإزهار، وزيادة فترة النمو النباتى، ومحتوى النباتات من الفوسفور والنيتروجين (Zhao & Li ١٩٩٤).

وقد تبين أن العدوى بفطرى الميكوريزا *Glomus mosseae*، و *G. etunicatum* ليس لها تأثيرات إيجابية على الوزن الجاف لنبات الفلفل، أو على محتوى أوراقه من الفوسفور إلا فى حالة عدم التسميد بالفوسفور (فى تربة كانت فقيرة أصلاً فى العنصر)، حيث لم تُستَعْمر جذور الفلفل جيدًا بأى من فطرى الميكوريزا عندما سمدت النباتات بالفوسفور؛ فكانت نسبة الجذور المستعمرة بالميكوريزا عند التسميد الجيد بالفوسفور (٢٧٨ مجم/كجم من التربة فى أصص الزراعة) ٦,٨٪ فقط من نسبة استعمار الجذور عندما لم يتم التسميد بالفوسفور فى تربة تحتوى على ٥ مجم فقط من العنصر (المستخلص بالـ $NaHCO_3$)/ كجم من التربة. وتأكدت تلك النتائج عندما زرع الفلفل فى حقل يحتوى على فطريات الميكوريزا *Acaulospora mellea*، و *Gigaspora margarita*، و *Glomus clarum*، و *Glomus etunicatum*، و *Scutellaspora pellucida* فى قطع تجريبية لم تعقم وتحتوى على تلك الفطريات، مقارنة بزراعته فى قطع تجريبية عقمت ولا تحتوى على تلك الفطريات، وذلك عندما لم يُسَمَّد الحقل بالفوسفور (١٤ مجم أو أقل من الفوسفور كمستوى طبيعى/كجم فى تربة فقيرة فى العنصر)، أو عندما سمد بمستوى منخفض من العنصر (٥ أو ١٥كجم P/هكتار). وحتى عندما تم التسميد بمستويات عالية من العنصر (٤٥ أو ١٣٥ كجم P/هكتار)،فإن استعمار فطريات الميكوريزا للجذور فى التربة غير المعقمة لم يتأثر بهذه المستويات العالية من الفوسفور (حيث كان تواجد الفطر عاليًا فى التربة، وبكثافة قدرها ١٠٦١ وحدة فطرية قادرة على إصابة الجذور/جم من التربة الجافة)، كما لم يتأثر المحصول سلبيًّا، ويبدو أن الجذور لم تُستعمر فى الشريط الضيق الذى أضيف فيه الفوسفور، بينما استُعمرت الجذور فى بقية الحيز الأكبر من التربة الذى لم يصل إليه السماد الفوسفاتى المضاف (Olsen وآخرون ١٩٩٥ب، و١٩٩٦، و١٩٩٩).

وفى مقابل النتائج التى أسلفنا بيانها عن تأثيرات الميكوريزا على نمو محصول الفلفل.. أظهرت دراسة أخرى (Marschner وآخرون ١٩٩٧) عدم وجود أى تأثير للعدوى بأى من فطرى الميكوريزا: *Glomus deserticola*، أو *G. intraradices*، على نمو نباتات الفلفل، ولكن بدا أن الميكوريزا ثبطت إفرازات الجذور، ومن ثم أثرت سلبيًّا على أعداد أنواع بكتيرية معينة تتواجد فى منطقة نمو الجذور، وكانت البكتيريا التى استخدمت فى هذه الدراسة، وتأثرت أعدادها سلبيًّا بالعدوى بالميكوريزا، هى السلالة *Pseudomonas fluorescens*.

وتحت ظروف نقص الفوسفور والزنك تفيد معاملة التربة فى مرحلة نمو البادرة بأى من فطريات الميكوريزا *Glomus mosseae*، أو *G. clarum*، أو *G. caledonium*، أو *G. intraradices*، أو *G. etunicatum*، أو مخلوط منها فى تحسين نمو نباتات الفلفل وتعويض نقص العنصرين بالتربة (Ortas وآخرون ٢٠١١).

الخيار

قام Trimble & Knowles (١٩٩٥ أ) بدراسة استجابة نباتات الخيار — حتى عمر ٣٨ يومًا — للحقن بثلاثة أنواع من الميكوريزا (هى: *Glomus mosseae*، و *G. dimorphicum*، و *G. intraradices*) فى وجود ثلاثة مستويات من الفوسفور فى المحلول المغذى (هى: ٤، و ١٢، و ٢٠ ملليجرامًا من الفوسفور P/لتر). وقد أوضحت الدراسة أن النباتات استجابت بشدة لاستعمار أنواع الميكوريزا الثلاثة لجذورها، ولكن ضعفت صلتها بالجذور مع زيادة التسميد بالفوسفور. ومع ذلك فقد ازدادت جميع دلائل النمو (الوزن الجاف للسيقان والأوراق، والمساحة الورقية) فى النباتات المستعمرة بفطريات الميكوريزا فى جميع مستويات التسميد الفوسفاتى، مقارنة بالنباتات التى لم تحقن بالميكوريزا، وكانت الزيادة فى النمو مماثلة للزيادة التى تحدث عند زيادة التسميد الفوسفاتى. وقد احتوت النباتات التى استعمرتها الميكوريزا على تركيزات من النيتروجين

الذائب أقل مما احتوت عليه نباتات الكنترول فى بداية مراحل النمو، ولكن تساوى محتواهما من النيتروجين الذائب بعد ٣٨ يومًا من الزراعة. وبينما احتوت أوراق النباتات التى لم تحقن بالميكوريزا على تركيزات أعلى من المواد الكربوهيدراتية الذائبة عن النباتات التى استعمرتها الميكوريزا (ربما بسبب قلة تصدير المواد الكربوهيدراتية منها، وتعرضها لنقص الفوسفور، مقارنة بالنباتات المحقونة بالميكوريزا)، فإن جذور النباتات التى استعمرتها الميكوريزا احتوت على تركيزات من المواد الكربوهيدراتية الذائبة أعلى مما احتوته جذور النباتات التى لم تحقن بالميكوريزا؛ الأمر الذى يعنى زيادة الطلب على المواد الكربوهيدراتية فى النباتات المحقونة بالميكوريزا لتوفير احتياجات النموات الفطرية.

وعندما قارن Trimble & Knowles (١٩٩٥ب) استجابة النباتات البالغة للحقن بفطر الميكوريزا *Glomus intraradices* فى ظل توفير الفوسفور للنباتات بكميات تراوحت بين ٩٠، و٧٢٠ ملليجرامًا من الفوسفور P/نبات/أسبوع، استمرت العلاقة وثيقة بين نباتات الخيار والفطر حتى المراحل المتأخرة من نموها، وذلك فى ظل وجود مستويات منخفضة أو متوسطة من التسميد الفوسفاتى. وبينما أدت زيادة التسميد الفوسفاتى إلى تحسين النمو بصورة عامة، فإن الحقن بفطر الميكوريزا أدى إلى تبكير الإزهار والإثمار، إلا أنه أحدث كذلك نقصًا بسيطًا فى النمو الخضرى للنباتات، مع زيادة فى فترة فشل العقد (التنفيل)؛ الأمر الذى ترتب عليه عدم زيادة المحصول الكلى وقد أُرجع ذلك إلى الطلب على المواد الكربوهيدراتية لمواجهة احتياجات النمو الفطرى الذى يعيش فى علاقة تبادل منفعة مع جذور النباتات.

وأدت معاملة بذور الخيار بأى من فطر الميكوريزا *Gliocladium virens* سلالة G872B، أو البكتيريا *Pseudomonas putida* سلالة Pf_3، أو مخلوط منهما قبل زراعتها فى الصوبة.. أدت إلى زيادة سرعة إنباتها، وزيادة النموين الخضرى والجذرى، وزيادة محصول الثمار، وأعطت معاملة الـ G872B والمخلوط منها مع Pf_3 أفضل النتائج.

وبينما كان المحصول المبكر والمتوسط أعلى فى معاملة الـ G872B، فإن المحصول الكلى كان أعلى فى معاملة المخلوط منها مع Pf_3 (Bae وآخرون ١٩٩٥).

وقد أدت معاملة جذور الخيار بالميكوريزا إلى زيادة معدل البناء الضوئى للأوراق، وارتبطت تلك الزيادة بزيادة محتوى الأوراق من عنصر الفوسفور، وليس لأن الميكوريزا أصبحت مستودعًا للغذاء المجهز (Black وآخرون ٢٠٠٠).

وأدت معاملة بيئة إنتاج شتلات الخيار والفلفل بفطر الميكوريزا *Trichoderma harzianum* إلى إحداث زيادة كبيرة معنوية فى نمو الشتلات، تمثلت — عندما كانت الشتلات جاهزة للشتل وهى بعمر ١٨، و ٣٠ يومًا من الزراعة لكل من الخيار والفلفل — على التوالى — فى ٢٣,٨٪، و ١٧,٢٪ فى ارتفاع الشتلات، و ٩٦,١٪، و٥٠٪ زيادة فى المساحة الورقية للشتلات، و٢٤,٧٪، و٢٨,٦٪ فى الوزن الجاف للشتلات. وقد نمت تلك الشتلات بقوة أكبر، وكان محتواها من الكلوروفيل أعلى مما فى شتلات الكنترول. وعندما شُتلت بادرات الخيار فى صوبة تجارية كانت النباتات أكثر مقاومة للذبول الطرى الذى تسببه فطريات الـ *Pythium* spp.، و *Rhizoctonia solani* (Inbar وآخرون ١٩٩٤).

وأدى تلقيح نباتات الخيار بالميكوريزا arbuscular mycroohizae إلى زيادة المحصول، وزيادة الفوسفور فى النبات والفوسفور الميسر فى التربة بنحو ٣٠٪. وقد تأثرت شدة استعمار الميكوريزا لجذور الخيار سلبًا بالتسميد الكيميائى للنباتات (Xu وآخرون ٢٠٠٠).

وأحدثت إضافة السلالة T203 من الميكوريزا *Trichoderma harzianum* إلى تربة نمو الخيار الزيادات التالية:

٣٠٪ فى سرعة بزوغ البادرات حتى ٨ أيام من زراعة البذور.

٩٥٪ فى المساحة الجذرية.

٧٥٪ فى الطول الكلى للجذور.

٨٠٪ فى الوزن الجاف.

٤٥٪ فى طول النمو الخضرى.

٨٠٪ فى المساحة الورقية.

٩٠٪ فى محتوى الفوسفور.

٣٠٪ فى محتوى الحديد (Yedidia وآخرون ٢٠٠١).

وأعطت معاملة زراعة نباتات الخيار فى بيئة ذات مستوى منخفض من الفوسفور، مع تركيزات عالية من العناصر الأخرى أعلى مستوى لاستعمار الجذور بفطر الميكوريزا *Glomus mosseae*، وأعطت أكبر قدر من الكتلة البيولوجية؛ لزيادة معدل البناء الضوئى فيها. أما عند زيادة مستوى الفوسفور فى بيئة الزراعة مع تركيزات عالية — كذلك — من العناصر الأخرى، فإن النمو النباتى تأثر سلبيًّا فى النباتات التى لُقحت بالميكوريزا، على الرغم من أن ذلك لم يكن مرده إلى أى انخفاض فى معدل البناء الضوئى، ولكنه كان مترافقًا مع انخفاض فى كفاءة استخدام النيتروجين فى عملية البناء الضوئى (Valentine وآخرون ٢٠٠١).

تُفيد معاملة البذور بالميكوريزا *Trichoderma harzianum* (السلالة T22) فى تحسين الإنبات فى الظروف البيئية القاسية، مثل الشدّ الملحى والحرارة المنخفضة، كما تؤدى المعاملة إلى زيادة قوة نمو البادرات (Mastouri وآخرون ٢٠١٠).

البصل والخضر النرجسية الأخرى

وجد Waterer & Coltman (١٩٨٨) أن زيادة مستوى الفوسفور الميسر لشتلات البصل بزيادة تركيز العنصر فى المحلول المغذى من ٤ إلى ٥٦ مجم P/لتر، أو بالتسميد بالعنصر كل ٤ أيام بدلاً من كل ٨ أيام أضعف إصابة نباتات البصل بفطر الميكوريزا *Glomus aggregatum*، وكان ذلك مصاحبًا بزيادة فى الوزن الطازج للنباتات وزيادة محتواها من

الفوسفور. ولم تكن العدوى بالميكوريزا مؤثرة فى زيادة الوزن الطازج للنباتات ومحتواها من الفوسفور إلا عندما كان مستوى الفوسفور الميسر لاستعمال النبات منخفضًا. وتحت هذه الظروف — التى واكبت التسميد بمعدلات منخفضة من الفوسفور وعلى فترات متباعدة — كانت الإصابة بفطر الميكوريزا جيدة، والنمو النباتى جيدًا.

وقد عامل Vosátka (١٩٩٥) نباتات البصل بعدة أنواع من فطريات الميكوريزا من الجنس *Glomus*، هى:

G. fasciculatum	*G. caledonium*
G. aggregatum	*G. intraradices*
G. vesiculiferum	*G. versiforme*
G. mosseae	*G. etunicatum*

وحصل الباحث على نتائج إيجابية من المعاملة بغالبية هذه الأنواع. وعلى الرغم من أن بعض الاختبارات أعطت نتائج أفضل فى حالة عدم تسميد البصل، إلا أن حالات أكثر كانت نتائجها إيجابية حتى مع النباتات المسمدة والمروية جيدًا.

وحصل Tawaraya وآخرون (١٩٩٦) على أفضل النتائج (أفضل إصابة بالميكوريزا، وأعلى تركيز للفوسفور فى النموات الخضرية للبصل، وأعلى وزن جاف للنموات الخضرية) عند تلقيح (عدوى) جذور البصل بفطر الميكوريزا *Glomus fasciculatum*، مقارنة بالعدوى بالفطرين *G. masseae*، و*G. caledonium*، وذلك عند جميع مستويات التسميد الفوسفاتى، وهى صفر، و٢١٨، و٤٣٠ مجم فوسفورًا/أصيص، ولكن حدثت أعلى إصابة بالميكوريزا عند عدم التسميد بالفوسفور وانخفضت الإصابة تدريجيًا بزيادة مستوى التسميد الفوسفاتى.

ولمزيد من التفاصيل عن موضوع الميكوريزا فى البصل الجاف .. يراجع Stribley (١٩٩٠).

وأحدث تلقيح البصل الأخضر بالميكوريزا *Glomus intraradices* فى ظل وجود مستوى عالٍ من تيسر الكبريت ومستوى منخفض من تيسر الفوسفور فى التربة .. أحدث تأثيرات عالية على محصول البصل الأخضر وحرافته؛ هذا.. فضلاً عن أن استعمار الميكوريزا للجذور أحدث زيادة فى كلٍ من الوزن الجاف للنمو الخضرى، ونسبة النمو الخضرى إلى الجذرى، وطول النمو الخضرى، وسمك الساق الكاذبة، ومحتوى الأوراق من الفوسفور (Guo وآخرون ٢٠٠٦أ). وقد تأكد التأثير الكبير للتلقيح بكل *G. intaradices*، و *G. versiforme* على النمو النباتى لبادرات البصل فى دراسة أخرى (Guo وآخرون ٢٠٠٦ب).

وأسهم تلقيح نباتات البصل الأخضر بأى من فطريات الميكوريزا: *Glomus etunicatum*، أو *G. intaradices*، أو *G. mossease* كثيرًا فى محتوى النباتات من الكبريت؛ الأمر الذى يمكن أن يؤثر فى خصائص طعمها. وعلى الرغم من أن تركيز الكبريت بالنبات وحامض البيروفيك المنتج إنزيميًّا ازدادا بزيادة التسميد بالكبريتات، فإنهما كانا — عادة — أعلى فى النباتات الملقحة بالميكوريزا أيًّا كان مستوى التسميد بالكبريت (Guo وآخرون ٢٠٠٧).

وقد اختلفت أنواع الميكوريزا فى مدى تأثرها بالتسميد الفوسفاتى، لكن وجد — بصورة عامة — أن التسميد الفوسفاتى الجيد أضعف كلاً من النمو الفطرى للميكوريزا واستعمارها لجذور الكرات، وخاصة عندما كان التسميد الفوسفاتى بعد ٧ أيام من الزراعة. وعلى الرغم من غزارة النمو الفطرى للميكوريزا *Scutellospora heterogama* عن نظيره فى *Glomus entunicatum*، فإنه كان اكثر حساسية لمستوى الفوسفور الميسر فى التربة (de Miranda & Harris ١٩٩٤).

وقد حُصل على نتائج مماثلة لما تقدم بيانه فى الثوم، حيث اعتمد الثوم على الميكوريزا (*Glomus fasciculatum*) فى نموه فى الأراضى التى تحتوى على مستويات متوسطة من الفوسفور؛ وبذا.. يمكن خفض معدلات التسميد الفوسفاتى مع تأمين محصول جيد من الأبصال (Al-Karaki ٢٠٠٢).

ووجد لدى اختبار ٢٧ صنفًا من بصل ويلز Welsh onion (وهو: *Allium fistulosum*) أنها جميعًا كونت علاقة وثيقة بين جذورها وفطر الميكوريزا *Glomus fasciculatum*، وإن تباينت الأصناف فى هذا الشأن، حيث تراوح اعتماد النمو الخضرى على استعمار الميكوريزا للجذور بين ٧٣٪، و٩٥٪، وتباين استعمار الفطر للجذور ذاتها بين ٤٨٪، و٨١٪ فى مختلف الأصناف. وبصورة عامة ازداد امتصاص الفوسفور والكتلة الجافة للنباتات بزيادة استعمار الميكوريزا للجذور (Tawaraya وآخرون ٢٠٠١).

البسلة

قام Reinhard وآخرون (١٩٩٤) بدراسة تأثير الميكوريزا *Glomus mosseae* على نباتات البسلة الملقحة بالبكتيريا *Rhizobium leguminosarum* فى وجود مستويات منخفضة أو عالية من الفوسفور (٥٠ أو ١٠٠مجم/كجم من التربة)، والنيتروجين (١٦ أو ١٠٠مجم/كجم من التربة)، مع توفير إضاءة ضعيفة أو عالية (العالية ٩٠٠ ميكرومول/م^{2}/ثانية) للنمو النباتى، وتوصلوا من دراستهم إلى ما يلى:

١- عندما كان مستوى الفوسفور منخفضًا أدى التلقيح بالميكوريزا إلى زيادة محتوى الفوسفور فى النموات الخضرية، وزيادة تثبيت النيتروجين.

٢- أدى ضعف الإضاءة إلى نقص جوهرى فى استعمار الميكوريزا للجذور وفى نمو العقد الجذرية.

٣- عندما كان مستوى الفوسفور عاليًا انخفضت قدرة الميكوريزا على استعمار الجذور.

٤- ازداد تمثيل المواد الكربوهيدراتية فى النباتات تحت ظروف الإضاءة العالية مع توفر الفوسفور والنيتروجين، ولكن تأخر تكوين العقد الجذرية.

٥- ازداد تكوين العقد الجذرية مع اقتراب مرحلة الإزهار، ولكن حدث ذلك بدرجة أقل فى النباتات الملقحة بالميكوريزا.

٦- وبعد ٢٨ يومًا من الزراعة كانت النباتات الملقحة بالميكوريزا أقل من نظيراتها غير الملقحة فى كل من الوزن الجاف للنموات الخضرية، والوزن الجاف للعقد الجذرية، وفى نشاط إنزيم النيتروجينيز nitrogenase.

هذا.. وتختلف سلالات وأصناف البسلة فى تقبلها لاستعمار الميكوريزا لها، وتلك خاصية وراثية. وقد أوضحت دراسات التطعيم أن تلك الصفة - أى خاصية القدرة على التوافق بين البسلة والميكوريزا من عدمه - تتحدد فى الجذور فقط (Vierheilig & Piche ١٩٩٦). وقد أمكن تحويل سلالات البسلة غير المتوافقة مع الميكوريزا إلى سلالات متوافقة، وجعلها قابلة للإصابة بالميكوريزا، وذلك بمعاملة جذورها بالمركب تراى أيودوبنزوك أسد triiodobenzoic acid (اختصارًا: TIBA)، وهو مثبط لانتقال الأوكسجين فى النبات (Muller ١٩٩٩).

الفاصوليا

أدت المعاملة بفطريات الميكوريزا *Glomus clarum*، و*G. etunicatum*، و *G. manihotis*، و*Gigaspora margarita* إلى زيادة الوزن الجاف لنباتات الفاصوليا بنسب تراوحت بين ٨٪، و٢٣٪، ومحتوى النباتات من الفوسفور بنسب تراوحت بين ١٦٠٪، و٣٣٥٪. وقد توقفت تلك الزيادات على مدى استعمار الميكوريزا لجذور النباتات؛ الأمر الذى توقف - بدوره - على كل من نوع الميكوريزا المستعمل وصنف الفاصوليا. وقد وجدت علاقة إيجابية قوية بين نسبة استعمار الميكوريزا للجذور ومحتوى النباتات من عنصر الفوسفور؛ بما يعنى أن الاستجابات الإيجابية للتلقيح بالميكوريزا كان مردها إلى دورها فى زيادة امتصاص الجذور لعنصر الفوسفور (Ibijbijen وآخرون ١٩٩٦).

هذا إلا أن زيادة نشاط الميكوريزا التى تعيش تعاونيًا مع جذور الفاصوليا فى الأراضى الفقيرة فى الفوسفور - وما يصاحب ذلك النشاط من زيادة فى امتصاص الفوسفور - يكون مصاحبًا بزيادة فى استهلاك الجذور من الكربون بسبب زيادة تنفس الجذور، ويكون ذلك على حساب الغذاء الذى يمكن أن يخزن فى الجزء الثمرى من النبات (Nielsen وآخرون ١٩٩٨).

هذا.. ويفيد تغليف بذور الفاصوليا بمثيل السيليلوز methyl cellulose بمعدل جرام واحد لكل كيلو جرام من البذور فى تحسين نسبة إنبات البذور وزيادة الوزن الطازج للبادرات جوهريًا. وقد أمكن تحميل عدد من المنشطات الحيوية فى مادة التغليف مع احتفاظها بحيويتها لمدة زادت عن ١٠ أسابيع بعد المعاملة وقبل زراعتها. وعلى الرغم من أن مختلف المنشطات الحيوية فقدت جزءًا من حيويتها أثناء فترة التخزين إلا أن أقلها تأثرًا كانا فطرا الميكوريزا *Gliocladium virens*، و*Trichoderma viride* وتلاهما فى التأثر البكتيريا *Bacillus subtilis*. أما البكتيريا *Pseudomonas fluorescens* فقد كانت أسرع المنشطات الحيوية فقدًا لحيويتها (Tu & Zheng ١٩٩٧).

الفراولة

أدى تلقيح جذور شتلات الفراولة بفطريات الميكوريزا *Glomus macrocarpum*، و *G. versiforme* إلى زيادة المحصول عما فى النباتات التى لم تلقح، وذلك فى الجزء الأخير من موسم الحصاد، ولكن اختلفت كثيرًا أصناف الفراولة فى استجابتها لمختلف أنواع وسلالات الميكوريزا (Chávez & Ferrara-Cerrato ١٩٩٠).

كذلك أدت معاملة نباتات الفراولة بفطر الميكوريزا *Glomus intraradices* إلى إحداث زيادة جوهرية فى كل من: ارتفاع النبات، والمساحة الورقية، وعدد الأوراق تناسبت طرديًا مع الزيادة فى عدد جراثيم الفطر التى لقحت بها النباتات من ٧٥٠ إلى ١٢٠٠٠ جرثومة/نبات، وكان الحد الأدنى المستعمل كافيًا لإحداث تأثير إيجابى على النمو النباتى (Silva وآخرون ١٩٩٦).

الخس

أدى تلقيح نباتات الخس بأى من فطرى الميكوريزا *G. mosseae*، أو *G. fasciculatum* إلى ارتفاع محتواها من الفوسفور أيًا ما كانت درجة ملوحة التربة، وكذلك أدت إلى زيادة تحمل النباتات لملوحة التربة. ويبدو أن زيادة تحمل النباتات للملوحة التى اكتسبها الخس بعد المعاملة بهذين الفطرين كان مردها إلى ما أحدثته

المعاملة من زيادة فى كل من معدل تبادل النباتات لغاز ثانى أكسيد الكربون، ودرجة توصيل الثغور، وكفاءة استخدام المياه، وليس إلى زيادة امتصاص النباتات لأى من عنصرى النيتروجين أو الفوسفور (Ruiz-Lozano وآخرون ١٩٩٦).

كذلك أدى التلقيح بأى من الفطريات *G. deserticola*، أو *G. fasciculatum*، أو *G. mosseae* إلى زيادة قدرة نباتات الخس على تحمل ظروف الجفاف من خلال خفضها لمدى النقص الذى تحدثه ظروف الجفاف فى نشاط الإنزيم nitrate reductase (Ruiz-Lozano & Azcón ١٩٩٦).

وفى دراسة أجريت على صنف الخس Romaine – المتوسط التحمل للملوحة — لم تؤثر العدوى بالميكوريزا جوهريًا فى تحسين النمو النباتى فى ظروف الشدّ الملحى. هذا إلاّ أن العدوى بالميكوريزا *Glomus intraradices* أدت إلى زيادة تركيز الفوسفور والبوتاسيوم بأوراق الخس (Garmendia & Mangas ٢٠١٤).

الأسبرجس

تستفيد نباتات الأسبرجس من فطريات الميكوريزا التى تعيش تعاونيًا مع جذورها. فمثلاً.. أدى تلقيح بادرات الأسبرجس بالميكوريزا *Glomus etunicatum* أو *G. margarita* إلى تحفيز تكوين الجذور والسيقان واستطالتها، وخاصة بعد موسم النمو الثانى. وأدت المعاملة بالميكوريزا إلى زيادة الوزن الجاف للنباتات وزيادة محتواها من العناصر، وخاصة الفوسفور، ولكن اختلف الفطران فى الحرارة المناسبة لنشاطهما بين ٢٥°م فى *G. etunicatum*، و٢٥ أو ٣٠°م فى *G. margarita* (Matsubara & Harada ١٩٩٦أ، و١٩٩٦ب). وقد كان فطر الميكوريزا *G. margarita* أكثر كفاءة فى استعمار جذور الأسبرجس عن الفطر *G. etunicatum*، حيث أدى التلقيح بمائة جرثومة من الفطر الأول إلى استعمار ٥٢,٣٪ من المجموع الجذرى للنبات، بينما لزمت ١٠٠٠ جرثومة من الفطر الثانى لاستعمار ٥٥,٢٪ من الجذور (Matsubara & Harada ١٩٩٧).

كذلك أظهرت الدراسات أن بادرات الأسبرجس الملقحة بأى من فطرى الميكوريزا *G. margarita*، أو *Glomus* sp. تكون أكثر تحملاً للانحرافات الحادة فى درجة الحرارة سواء أكان ذلك بالارتفاع إلى ٣٠ °م، أم بالانخفاض إلى ١٥ °م؛ حيث كانت النباتات الملقحة أطول من غير الملقحة فى كلتا الحالتين، إلاّ أن الميكوريزا *G. margarita* كانت أكثر كفاءة، وأكثر قدرة على استعمار جذور الأسبرجس، حيث بلغ متوسط استعمارها للجذور ٦٦,٣٪ بعد ١١ أسبوعًا من تلقيح الجذور بها، مقارنة بنسبة استعمار للجذور بلغت ٣٦,٧٪ للفطر *Glomus* sp. (Matsubara وآخرون ٢٠٠٠).

وأدى تلقيح جذور الأسبرجس بالسلالة R10 من الميكوريزا *Glomus* sp. إلى تحفيز النمو الخضرى والجذرى للنباتات، وزيادة تحملها لعفن الجذور الفيوزارى الذى يسببه الفطر *Fusarium oxysporum* f. sp. *asparagi*؛ الأمر الذى واكبه زيادة فى النشاط المضاد للأكسدة بالنبات، والذى تمثل فى حدوث زيادة فى نشاط كلاً من: الـ superoxide dismutase، والـ ascorbate peroxidase، والـ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl radical scavenging activity، مع زيادة فى محتوى الفينولات الكلى وحامض الأسكوربيك (Nahiyan & Matsubara ٢٠١٢).

أهمية الميكوريزا فى تحمل النباتات للملوحة والجفاف

درس Rosendahl & Rosendahl (١٩٩١) تأثير سلالات من الفطر *Glomus* spp. فى قدرة نباتات الخيار على تحمل الملوحة (٠,١ مللى مول من كلوريد الصوديوم)، ووجدا أن سلالتين منها كانتا قادرتين على حماية النباتات من أضرار الملوحة، ولكن ذلك التأثير لم يكن مرتبطًا بالتأثير المحفز لتلك السلالات على النمو الخضرى لنباتات الخيار.

وأدت الميكوريزا المتحصل عليها من الأراضى غير الملحية إلى تحسين نمو نباتات الطماطم، بينما أدت تلك المتحصل عليها من الأراضى الملحية إلى إضعاف النمو النباتى الجذرى والخضرى على الرغم من خفضها لمستوى الكلورين فى الأوراق فى المستويات المتوسطة من الملوحة؛ مما يعنى احتمال أن يكون لها دور فى تحمل النباتات للملوحة تحت تلك الظروف (Copeman وآخرون ١٩٩٦).

وتبين من دراسات أجريت على تلقيح جذور شتلات الخس والبصل بفطريات ميكوريزا قبل شتلها فى أرض ملحية تباينت شدة ملوحتها بين ٢ ديسى سيمنز/م (الكنترول) إلى ١٢ ديسى سيمنز/م أن ذلك التلقيح أحدث زيادة جوهرية فى نمو المحصولين مع زيادة فى محتوى الأوراق من الكلوروفيل فى كل مستويات الملوحة، بينما تقزمت نباتات البصل غير الملقحة بالميكوريزا بسبب تعرضها لنقص الفوسفور. ولم تكن عزلات الميكوريزا المتحصل عليها من أرض ملحية أكثر كفاءة فى تقليل أضرار الملوحة عن تلك التى حُصِلَ عليها من أرضٍ غير ملحية. هذا.. إلا أن درجة استعمار الميكوريزا لجذور الخس والبصل انخفضت بزيادة ملوحة التربة (Cantrell & Linderman ٢٠٠١).

أهمية الميكوريزا فى مقاومة النباتات للإصابات المرضية

يفيد عديد من الدراسات أن إصابة النباتات بفطريات الميكوريزا الداخلية التطفل تجعلها أكثر مقاومة لأمراض الجذور، ويتضح ذلك من الأمثلة التالية (عن Plati ١٩٨١، وWhite ١٩٨٧).

المحصول	المسبب المرضى	تأثير الميكوريزا
الفراولة	*Cylindrocarpon destructans*	تقليل الإصابة كثيرًا
فول الصويا	*Pythium ultimum*	ليس لها تأثير
	Phytophthora megasperma	يقل عدد النباتات الميتة
	Meloidogyne incognita	تقل أعداد الثآليل ويزداد المحصول
القطن	*Thielaviopsis basicola*	يقل التقزم النباتى
	Meloidogyne incognita	يقل التقزم
	Pratylenchus brachyurus	تقل أعداد النيماتودا
الطماطم	*Fusarium oxysporum*	يقل التقزم وتقل الإصابة
	Meloidogyne incognita	تقل أعداد النيماتودا
الخيار	*Fusarium oxysporum*	يقل التقزم وتقل الإصابة
	Meloidogyne incognita	تقل أعداد النيماتودا ويزداد النمو النباتى
الموالح	*Phytophthora parasitica*	يقل الضرر
البصل	*Pyrenochaeta terrestris*	تقل الإصابة
الجزر	*Meloidogyne hapla*	تقل الإصابة

هذا.. وربما تحدث الحماية لجذور النباتات من الإصابة بالمسببات المرضية؛ بسبب وجود الغطاء الكثيف لفطريات الميكوريزا التى تحيط بالجذور وتشكل عائقًا فيزيائيًّا أمام الإصابات المرضية. ولا تتوفر هذه الحماية إلا فى أجزاء الجذور التى تكون على صلة بفطر الميكوريزا.

ومن المعروف أن فطريات الميكوريزا تغير من فسيولوجيا النبات؛ فالجذور التى تتصل بها تكون أكثر (لجننة) من الجذور غير المتصلة بها، وربما يكون لذلك صلة مباشرة بتقليل حدوث الإصابات المرضية.

وتحتوى النباتات على إنزيمات شيتينية Chitionlytic Enzymes تقوم بتحليل الـ Arbuscules المسنة. ويمكن أن تكون هذه الإنزيمات مؤثرة على الفطريات المرضة كذلك.

ويكون للتغيرات فى فسيولوجيا الجذور المتصلة بفطريات الميكوريزا تأثيرات أخرى على الكائنات المرضة؛ فمثلاً.. يزداد الأرجنين الذى يقلل من تجرثم الفطر *Thielaviopsis basicola*، كما يزداد تركيز السكريات المختزلة التى قد تثبط نمو الفطر *Pyrenochaeta terrestris*.

كما أن تواجد فطريات الميكوريزا يؤدى إلى زيادة قوة النمو النباتى؛ الأمر الذى يزيد من مقاومة النباتات للإصابات المرضية (عن Miller وآخرين ١٩٨٦).

تتوقف فاعلية المعاملة بفطريات الميكوريزا على مدى نجاح الفطريات فى إصابة الجذور لكى تتعايش معها؛ الأمر الذى يتوقف على عديد من العوامل، مثل: العدوى بالفطريات فى المكان المناسب، وفى الوقت المناسب، وعمر جذور النبات عند إجراء العدوى (حيث يوجد تناسب عكسى بين عمر الجذور وقابليتها للإصابة)، ومدى قابلية المحصول للإصابة بهذه الفطريات.

وقد وجد Akef وآخرون (١٩٩٠) أن إصابة جذور البصل بفطر الميكوريزا *Glomus deserticola* بدأت بعد العدوى بالفطر بمدة ثلاثة أيام، ووصلت إلى ٥٠٪ من الطول

الكلى للجذور بعد ٢١ يومًا. وبالمقارنة.. بدأت الإصابة بالفطرين *G. mosseae*، و *G. intraradices* بعد ١٢ يومًا، وبلغت ١٥٪، و٣٧٪ - على التوالى — بعد ٢١ يومًا. وفى تجربة أخرى حدثت إصابة سريعة لجذور البصل بالفطر *G. deserticola* عند عمر ثلاثة أيام، ثم ازدادت إلى ٥١٪ بعد ثلاثة أيام من العدوى، بينما كانت النباتات التى بعمر ١٠ أيام أو ١٧ يومًا أقل كثيرًا فى استجابتها لفطريات الميكوريزا، ولكنها أصيبت بشدة عند عمر ٣٠ يومًا عندما تكونت بها جذور جديدة. وكانت أفضل طريقة للعدوى هى وضع الفطريات تحت البذور — عند الزراعة — بعمق ٣ سم. وقد أدت هذه المعاملة إلى تحسين نمو البصل فى الأرض المعقمة، ولكنها لم تكن مؤثرة على نموه فى تربة غير معقمة.

كما وجد Sukarno وآخرون (١٩٩٣) أن معاملة التربة بأى من المبيدات الفطرية: بنليت Benlate (benomyl)، أو ألييت Aliette (fosetyl-Al)، أو ردوميل Ridomil (metalaxyl) كان لها تأثيرًا سلبيًا كبيرًا على فطريات الميكوريزا سواء أكانت تلك التى تعيش حرة فى التربة، أم التى تتعايش مع جذور البصل، ولكن تباينت الفطريات فى تأثيراتها على كل من فطريات الميكوريزا ونمو نباتات البصل.

وأدى تلقيح التربة بفطرى الميكوريزا *Trichoderma harzianum*، و *T. viride* إلى تحسين نمو البصل ووزنه الطازج جوهريًا، ولكن التلقيح لم يكن مؤثرًا بصورة جوهرية فى مكافحة الفطر *Sclerotium cepivorum* المسبب للعفن الأبيض (Payhami وآخرون ٢٠٠١).

طرق التلقيح بفطريات الميكوريزا

تتوفر حاليًا طريقتان للتلقيح بفطريات الميكوريزا، هما: استعمال الجذور المصابة بالفطر، واستعمال التربة التى توجد بها الجراثيم الكلاميدوسبورية للفطر بمعدل نحو ١٠ جم منها لكل نبات. وتعد الطريقة الأولى أكثر كفاءة فى إحداث الإصابة بالفطر.

ويمكن إضافة الملقّح بعدة طرق، فالخضر التى تزرع فى المشتل أولاً يمكن تلقيحها بسهولة قبل نقلها إلى الحقل الدائم. أما الخضر التى تزرع مباشرة فى الحقل الدائم فإنها

تلقح عن طريق البذور، أو بإضافة الملقح إلى التربة عند زراعة البذور، وقد ينثر الملقح على سطح التربة بعد خلطه بالحبوب الصغيرة، ولكنها طريقة قليلة الكفاءة وغير عملية.

وقد يمكن إضافة الملقّح عند زراعة البذور وهى محمولة فى سوائل، ولكن هذه الطريقة لم تُطور بعد.

ويتطلب نجاح التلقيح عدم وجود أية منافسة من الكائنات الدقيقة الأخرى على جذور النباتات — فى التربة المحيطة بالجذور rhizosohere — بعد التلقيح بالفطر، مع عدم وجود آثار متبقية للمبيدات التى سبق استخدامها فى التربة.

إن فطريات الـ VAM لا تعيش إلا لفترات قصيرة عند تخزينها أو نقلها من مكان إلى آخر. ويمكن زيادة قدرتها التخزينية، ولكن ذلك قد يقلل كثيرًا من قدرتها على تكوين علاقة بيولوجية مع النبات.

كما أنه من الضرورى إعادة زراعة فطريات الـ VAM — مع النباتات — فى أصص لتجديد المزارع.

ومقارنة بالنباتات المعمرة.. فإن محاصيل الخضر — وهى محاصيل قصيرة العمر— قد لا يناسبها العدوى بفطريات الـ VAM — لأسباب اقتصادية — باستثناء الحالات التى تستجيب فيها الخضر كثيرًا للعدوى بالـ VAM (عن Miller وآخرين ١٩٦٨).

هذا.. وتُصاب الجذور النباتية بالميكوريزا من الجراثيم وبقايا الجذور التى توجد فى التربة أو من الجذور المجاورة لنفس النبات أو لنباتات أو أنواع نباتية أخرى مجاورة. ومما يحفز الإصابة تواجد شبكة من الميكوريزا بالتربة لم تُهدم بالحراثة أو بقلب التربة (Marschner ١٩٩٥).

العوامل المؤثرة فى قدرة فطريات الميكوريزا على الاتصال بيولوجياً بالنباتات

تتأثر قدرة فطريات الميكوريزا على الاتصال بيولوجيًا بالنباتات بالعوامل التالية:

١-النوع النباتى.. حيث تفشل بعض الخضر - مثل الصليبيات والرمراميات - فى تكوين علاقة بيولوجية مع فطريات الـ VAM. ويبدو أن النباتات ذات الجذور القليلة السميكة غير المتفرعة - كما فى البصل والموالح - تكون أكثر اعتمادًا على فطريات الميكوريزا من النباتات ذات الجذور الكثيرة الدقيقة والشعيرات الجذرية الطويلة.

٢-الصنف.. حيث يدل عديد من الدراسات على وجود تباينات كثيرة بين أصناف النوع الواحد فى قدرتها على تكوين علاقات وثيقة مع فطريات الميكوريزا. ويعد ذلك نوعًا من التفضيل preference بين العوائل والفطر، وليس تخصصًا specialization لفطريات معينة على عوائل معينة.

٣-التباينات بين أنواع وسلالات فطريات الميكوريزا من حيث كفاءتها فى تكوين علاقة تبادل منفعة قوية مع النباتات.

٤-خصوبة التربة والتسميد:

يؤدى توفير الفوسفور للنباتات - سواء أكان ذلك عن طريق التربة، أم عن طريق النموات الخضرية - إلى إضعاف العلاقة البيولوجية بينها وبين فطريات الميكوريزا.

كما يؤدى التسميد الآزوتى الجيد - كذلك - إلى إضعاف نمو وتجرثم فطريات الميكوريزا.

وتقل كفاءة فطريات الـ VAM فى تكوين علاقة تبادل منفعة مع النباتات فى الأراضى الخصبة بصورة عامة، كما فى معظم الأراضى الزراعية.

٥- درجة الحرارة:

تزداد قدرة فطريات الـ VAM على تكوين علاقة تبادل المنفعة - مع النباتات - مع ارتفاع درجة الحرارة إلى ٣٠°م.

٦- شدة الإضاءة:

تزداد صلة تبادل المنفعة (بين فطريات الـ VAM والنباتات) قوة مع زيادة شدة الإضاءة؛ حيث يزداد معدل البناء الضوئى اللازم لمواجهة احتياجات الفطر من الغذاء المجهز.

وقد وجد أن تكوين الفاصوليا لعلاقات تبادل المنفعة مع كل من فطريات الميكوريزا وبكتيريا تثبيت آزوت الهواء الجوى معًا – مقارنة بالتعايش مع بكتيريا تثبيت آزوت الهواء الجوى فقط – أدى إلى زيادة فى كلٍ من النمو، وتكوين العقد الجذرية، ومعدل تثبيت آزوت الهواء الجوى، ومحتوى العقد والنباتات من كلٍ من الـ leghemoglobin، والفوسفور، والبروتين الكلى. كما حُصِلَ على نتائج مماثلة لتلك النتائج فى اللوبيا.

هذا.. إلا أنه لم تتحقق تلك الاستفادة من تواجد فطريات الميكوريزا وبكتيريا الرايزوبيم – معًا – إلا عندما كانت الإضاءة قوية؛ حيث تمكنت النباتات البقولية من الارتفاع بمعدلات البناء الضوئى لمواجهة احتياجات كلا الكائنين المتعايشين معًا تعاونيًّا (عن Miller وآخرين ١٩٨٦).

وفى دراسة أجريت على الميكوريزا (VAM) فى الخس وجد ما يلى:

١–انخفض استعمار فطريات الميكوريزا مع زيادة استعمال المبيدات والأسمدة الكيميائية الفوسفاتية والنيتروجينية.

٢–ارتبط استعمار فطريات الميكوريزا لجذور الخس إيجابيًّا مع إضافة المواد العضوية للتربة، وتواجد عوائل أخرى للميكوريزا فى الدورة، ومع زيادة نسب الكربون إلى الفوسفور، والكربون إلى النيتروجين فى التربة.

٣–ارتبطت أعداد جراثيم الـ VAM فى التربة بقوة مع عدد العوائل الأخرى فى الدورة، ومع تواجد العوائل من الحشائش، بينما ارتبطت أعداد الجراثيم سلبيًّا بزيادة محتوى التربة الكلى من النيتروجين والكربون والفوسفور، وكذلك مع زيادة السعة التبادلية الكاتيونية (Miller & Jackson ١٩٩٨).

ومن المعروف أن نمو الميكوريزا يُثبَّط فى مخاليط الزراعة التى تحتوى على نسب مختلفة من البيت موس. وكان يعتقد بأن مرد ذلك هو احتواء تلك المخاليط على تركيزات عالية من الفوسفور، الذى يثبط المعيشة التعاونية بين الميكوريزا وأنسجة الجذور، ولكن اقتُرِح – كذلك – أن البيت ربما يُسهم فى هذا التثبيط. وفى دراسة استخدم فيها نوعًا الميكوريزا *Glomus deserticola*، و *Gigaspora rosea*، وجد أن استخدام مصادر

مختلفة للبيت يمكن أن يثبط أو يحفز نمو الميكوريزا بدرجات مختلفة للنوعين المختبرين (Linderman & Davis ٢٠٠٤).

وكما أسلفنا.. فإن العناصر الغذائية المتوفرة في التربة تلعب دورًا هامًّا في نشاط الميكوريزا واستعمارها لجذور النباتات، ونلقي – فيما يلي – مزيدًا من الضوء على هذا الموضوع:

- إن مستوى توفر العناصر المغذية للنبات قد يثبط استعمار الميكوريزا للجذور أو يحفزه؛ فمثلاً.. ينخفض استعمار الميكوريزا للجذور عندما يكون مستوى الفوسفور شديد الانخفاض، حيث قد يؤدى النقص الشديد للفوسفور إلى الحد من نمو الفطر ذاته، ومع زيادة مستوى الفوسفور، يزداد كل من النمو الجذرى، ونسبة الجذور التى يستعمرها الفطر إلى أن يصل مستوى الفوسفور إلى الحد الأمثل، حيث ينخفض بعدها معدل استعمار الميكوريزا للجذور بدرجات متفاوتة تختلف باختلاف نوع الميكوريزا، والنوع المحصولى.

- كذلك تؤدى زيادة توفر النيتروجين إلى خفض معدل الإصابة بالميكوريزا، وخاصة إذا ما اقترن ذلك بزيادة فى مستوى الفوسفور، وعندما يكون توفر النيتروجين على صورة أمونيوم. ويعتقد أن النقص فى نسبة الجذور التى تستعمرها الميكوريزا تحت هذه الظروف يكون مرده إلى زيادة معدل نمو الجذور عما يمكن لنمو الميكوريزا أن يواكبه (Marschner ١٩٩٥).

- وقد استعمرت الميكوريزا *Glomus intraradices* جذور الخيار فى مستويات مختلفة من التسميد الآزوتى، ولكن العلاقة بين الفطر والجذور كانت أقوى ما يمكن فى المستوى المنخفض من النيتروجين، وأوضحت الدراسة أن مرد ذلك كان زيادة امتصاص النيتروجين عن طريق الغزل الفطرى الخارجى (Johansen وآخرون ١٩٩٤).

- ويعد توفر الكالسيوم – وعدم تنافس المغنيسيوم معه على الامتصاص – ضروريًّا لاستعمار الميكوريزا للجذور بصورة جيدة (Jastefer وآخرون ١٩٩٨).

- ويعتقد بأن الميكوريزا (الـ VAM) ربما تُحور أيض الفينولات فى الجذور؛ مما يعوق إنتاج الإيثيلين وقدرة الجذور على إنفاذ استجابة دفاعية ضد الميكوريزا. وربما يؤدى توفير الفوسفور من مصادر غير حيوية إلى تجديد قدرة الجذور جزئيًّا على إنتاج الإيثيلين؛ الأمر الذى قد يُزيد من مقاومتها للميكوريزا (McArthur & Knowles ١٩٩٢).

الفصل الرابع عشر

منشطات النمو الحيوية الطبيعية

إلى جانب منشطات النمو الحيوية الميكروبية التى تناولناها بالشرح فى الفصل الثالث عشر، فإنه تتوفر منشطات نمو حيوية أخرى، ولكنها غير ميكروبية، وهى مركبات ذات أصول نباتية أو حيوانية أو مستخلصات منها.

ومن أمثلة هذه المنشطات الحيوية الطبيعية ما يلى:

١- مركبات كيميائية - غير سمادية - محفزة للنمو؛ مثل: حامض الهيوميك Humic acid، وحامض الفلفليك fulvic acid، وحامض الفوليك folic acid، وبوليمرت حامض اللاكتيك، ومجموعة فيتامينات B، وحامض الأسكوربيك (فيتامين C)، ومتعددات الأمين، والميثانول، والجليسين بيتين، وغيرهم. ومن أمثلتها ما وجد من أن معاملة نباتات الطماطم النامية فى ظروف الشدّ الملحى بالمنشط الحيوى الطبيعى ميجافول Megafol (وهو يحتوى على فيتامينات وأحماض أمينية، وبروتينات وبيتانينات betanins) أدت إلى زيادة الكتلة البيولوجية للنباتات، وزيادة فلورة الكلوروفيل فيها، وجعلها أكثر قدرة على تحمل الشدّ الملحى (Petrozza وآخرون ٢٠١٤).

٢- مستخلصات (شاى) الكمبوست.

٣- مستخلصات الطحالب البحرية.

أحماض الهيوميك

أحماض الهيوميك هى الناتج النهائى لتحلل المادة العضوية سواء أكانت نباتية أم حيوانية، وتحقق المعاملة بها فوائد عديدة، كما يلى:

أولاً: الفوائد الفيزيائية

١-زيادة قدرة التربة على الاحتفاظ بالرطوبة.

٢-زيادة تهوية التربة.

٣-جعل التربة أنسب لعمليات الخدمة.

٤-المساعدة فى تحمل النباتات لظروف الجفاف.

٥-تحسين مراقد البذور.

٦-جعل التربة المتماسكة أكثر قابلية للتفتت.

٧-تقليل تعرية التربة.

ثانيًا: الفوائد الكيميائية

١-الاحتفاظ بالعناصر السمادية الذائبة فى منطقة نمو الجذور وإطلاقها للنباتات عند حاجتها إليها.

٢-تحفيز تحول بعض العناصر إلى صور ميسرة للنباتات.

٣-تكون ذات سعة تبادلية كاتيونية عالية جدًا.

٤-تسهم فى تحلل الصخور والمعادن.

٥-تزيد من احتفاظ التربة بخصائصها الكيميائية (مثل الـ pH) دون أن تحدث بها تغيرات ملموسة.

٦-تقوم بخلب أيونات المعادن فى الظروف القلوية.

ثالثا: الفوائد البيولوجية

١-تحفز النمو النباتى بإسراعها للانقسام الخلوى؛ مما يزيد من معدل نمو الجذور، ومن ثم زيادة المحصول.

٢- زيادة سرعة ونسبة إنبات البذور.

٣- زيادة محتوى النباتات من الفيتامينات.

٤- زيادة نفاذية الأغشية الخلوية؛ مما يُسرع امتصاص النباتات للعناصر.

٥- تحفيز النمو الجذرى، خاصة طوليًا.

٦- زيادة معدل تنفس الجذور وتكوينها.

٧- تحفيز نمو وتكاثر الكائنات الدقيقة من بكتيريا وخمائر وفطريات.

٨- تساعد فى زيادة البناء الضوئى.

٩- تحفيز نشاط الإنزيمات النباتية.

ولقد أدت إضافة أحماض الهيوميك المتحصل عليها من الـ vermicompost (وهو الكومبوست الناتج من نشاط الديدان الأرضية earthworms على المخلفات العضوية) إلى المزارع اللاأرضية الصلبة لكل من الطماطم والخيار إلى تحسين نموهما جوهريًا — بصورة مطردة — بزيادة معدلات إضافة أحماض الهيوميك حتى ٥٠ — ١٠٠مجم/كجم من بيئة الزراعة، ولكن انخفض نموهما جوهريًا – بعد ذلك — بزيادة تركيز أحماض الهيوميك حتى ٥٠٠–١٠٠٠مجم/كجم من بيئة الزراعة. وربما ترجع تلك التأثيرات المتناقضة إلى وجود تأثير منشط شبيه بتأثير الهرمونات لأحماض الهيوميك، أو لادمصاص الهرمونات النباتية على تلك الأحماض (Atiyeh وآخرون ٢٠٠٢).

ووجد أن معاملة الطماطم — عن طريق التربة — بكل من أحماض الهيوميك والأحماض الأمينية تحفز امتصاص النباتات للحديد المخلوب على FeEDDHA، وتُحسِّن امتصاص الفوسفور، فضلاً عن أنها تقلل مستويات الصوديوم فى الأوراق، بما يعنى زيادة تحمل النباتات للملوحة (Sánchez وآخرون ٢٠٠٥).

كما أدت إضافة المواد الدبالية على صورة محلول سائل (المنتج التجارى Hymifirst) للتربة إلى إحداث تأثيرات إيجابية على محصول البطاطس من الدرنات

والمادة الجافة، مع زيادة فى امتصاص كل من النيتروجين والفوسفور (Verlinden وآخرون ٢٠٠٩).

وتحسن النمو النباتى والوزن الجاف وامتصاص النيتروجين والفوسفور فى البطاطس والسبانخ لدى معاملة التربة بحامض الهيوميك (Verlinden وآخرون ٢٠٠٩).

ودُرس تأثير أحماض الهيوميك من مصدرين تجاريين (من كل من البيت peat، والليونارديت leonadite، بتركيز ٢٠، و٥٠ جزءًا فى المليون، على التوالى)، ووجد أنهما أديا إلى تحسين النمو الجذرى وتحسين امتصاص النباتات للحديد؛ الأمر الذى ربما حدث بسبب اختزال الحديديك إلى حديدوز بفعل حامض الهيوميك (Adani وآخرون ١٩٩٨).

وتحسن نمو نباتات الطماطم فى مزرعة مائية بإضافة كل من حامض الهيوميك وحامض اللاكتيك إلى المحلول المغذى، وكانت الاستجابة أكبر عندما كانت درجة التوصيل الكهربائى عالية، كما ازدادت الاستجابة عندما أضيفت — كذلك — البكتيريا *Bacillus subtilis* إلى المحلول المغذى (Bohme ١٩٩٩).

كما دُرس تأثير هيومات البوتاسيوم والصوديوم والأمونيوم بتركيزات مختلفة على الطماطم النامية فى مزارع لاأرضية من البرليت وألياف جوز الهند والبيت، ووجد أن المعاملة حسّنت من النمو النباتى وزادت من محتوى الكالسيوم فى السيقان والأوراق والثمار، لكن وجدت — كذلك — اختلافات جوهرية فى تلك التأثيرات بين طرز الهيومات وتركيزاتها ونوع بيئة الزراعة المستعملة (Hoang & Bohme ٢٠٠١).

وأوضحت دراسة أجريت على خمسة تحضيرات تجارية من حامض الهيوميك أن إضافتها للتربة بمعدلات تراوحت بين ٠,٥، و١,٤ كجم/فدان لم تؤثر على امتصاص الطماطم لأى من العناصر الكبرى أو الصغرى، كما لم تؤثر على الكتلة البيولوجية الجافة أو محصول الثمار (Hartz & Bottoms ٢٠١٠).

ودُرس تأثير إضافة المركب التجارى SHB (وهو مركب شبيه بحامض الهيوميك مستخلص من نشارة خشب الحور بعملية حرارية وميكانيكية) بتركيزات تراوحت بين

١٠٠، و ٤٠٠ مجم/لتر على نمو الخيار والذرة والبيلارجونيم (الغرنوقى) والقمح، ووجد أنه حفز نموها جميعًا (Morard وآخرون ٢٠١١).

وفى المقابل.. لم تكن للمعاملة بأى من خمسة عشر تحضيرًا تجاريًّا — من تلك التى تسوق على أنها محفزة للنمو — والتى كان منها عدة تحضيرات تحتوى على حامض الهيوميك بتركيزات تتراوح بين ٠,٥٪، و ٧٠٪ — أى تأثير على محصول البصل (Feibert وآخرون ٢٠٠٣).

مستخلصات الفرميكمبوست

دُرس تأثير نقع البذور فى تركيزات مختلفة من المستخلص المائى للفيرميكمبوست — المجهز من سبلة الدواجن — لمدة ٩ ساعات، وكانت التركيزات المستخدمة ١٠٪، و٥٪، و٣٪، و١٪ (على التوالى ١: ١٠، و١: ٢٠، و١: ٣٣، ١: ١٠٠ نسبة حجم الفيرميكمبوست إلى الماء)، وصفر (الكنترول). أحدث نقع البذور فى مستخلصات الفيرميكمبوست زيادة جوهرية فى نسبة إنبات بذور الطماطم والخس وفى معدل نمو بادراتها، مقارنة بما حدث فى الكنترول، وكانت الاستجابات لمختلف التركيزات خطية. وحدثت تأثيرات مماثلة — تقريبًا — لمستخلص فيرميكمبوست مجهز من مخلفات الأغذية. كذلك دُرس تأثير فترة النقع فى المستخلص المائى، ووجد أن التأثير يزداد إيجابيًّا وخطيًّا مع زيادة فترة النقع حتى ٢٤ ساعة. وربما كان للهرمونات IAA، والسيتوكينين، والجبرينلينات والأحماض الدبالية التى تتوفر فى المستخلصات تأثيرها فى زيادة سرعة إنبات البذور (Pant وآخرون ٢٠١٢).

مستخلصات الطحالب البحرية

يمكن استعمال مستخلصات الطحالب البحرية كمغذيات، كما يُعتقد بأنها توفر للنبات منظمات نمو طبيعية مثل السيتوكينينات والأوكسينات، ومحفزات نمو بيولوجية أخرى، مثل البيتينات betaines، والبولى أمينات polyamines، وقليلات التسكر oligosaccharides التى يمكن أن تُحسِّن المقاومة النباتية أو التحمل لظروف الشدِّ

البيئى، والأمراض والحشرات. لكن لا يجب استخدام المستخلصات منفردة، وإنما كإضافة لبرامج الخدمة المحصولية العادية (Norrie & Hiltz ١٩٩٩).

تتباين كثيرًا مستخلصات الطحالب البحرية فى محتواها، ولكنها قد تحتوى على ١٪ حديد، و٠,٥٪ زنك، و٠,٥٪ منجنيز، و٨٪ مادة عضوية، و١٣٪ خلاصة حامض الهيوميك.

إن الطحالب البنية غنية بالسيتوكينين الذى يحفز إنتاج مضادات الأكسدة، التى توفر – بدورها – الحماية للنباتات من بعض الظروف البيئية القاسية، فضلاً عن تنشيط السيتوكينين ذاته للنمو الجذرى والخضرى، وتحفيزه لعملية البناء الضوئى، وتأخيره للشيخوخة (O'Dell ٢٠٠٣).

وقد قام Vavrina وآخرون (٢٠٠٤) باختبار تأثير عدد من المنتجات التجارية التى تُسوَّق على أنها مستحثات للمقاومة الجهازية وللنمو النباتى على نباتات الطماطم، وتبين من تلك الدراسة أن المعاملة بالتحضير التجارى Keyplex 350DP plus Nutri-phite أحدثت زيادة فى النمو مقدارها ١٤,٣٪، وتحسين فى حالة الجذور – مقارنة بمعاملة الكنترول – بعد تعرض النباتات للإصابة بالنيماتودا.

وتبين من دراسة أجريت على فاصوليا تبارى (*Phaseolus acutifolius*) رُشت فيها النباتات بمستخلص الطحلب البحرى البنى *Eclonia maxima* أن المعاملة أدت إلى زيادة وزن البذور – خاصة تحت ظروف الشدّ الغذائى – وأن المستخلص لم يكن – فقط – مغذيًا، وإنما كان – كذلك– منشطًا بيولوجيًا (Beckett وآخرون ١٩٩٤).

كما أدت معاملة الطماطم والفاصوليا – وكذلك القمح والذرة والشعير – بمستخلص الطحلب البحرى *Ascophyllium nodosum* رشًا على الأوراق أو بالإضافة إلى التربة إلى زيادة محتوى الأوراق من الكلوروفيل. وقد تبين أن ذلك التأثير للمستخلص كان مرده إلى محتواه من البيتين Betaine (Blunden وآخرون ١٩٩٦).

ويستدل من دراسات أجريت على الخس أن التأثير المنشط لإثنين من مستخلصات الطحالب البنية (هما الطحلبان: *Ascophyllum nodosum*، و*Laminaria hyperborea*)

مرده إلى ما تحتويه تلك المستخلصات من عنصر البوتاسيوم، وليس إلى أى محتوى عضوى لها من منشطات للنمو (Moller & Smith ١٩٩٨).

وتبين لدى مقارنة تأثير ثمانى محفزات للنمو عوملت بها نباتات الفلفل رشًا عند الإزهار ثم بعد ٣٠ و٦٠يومًا أن البيوزيم كان أكثر فاعلية فى زيادة محتوى الثمار من الجلوكوز، والفراكتوز، والسكروز (Belakbir وآخرون ١٩٩٦).

وفى دراسة عوملت فيها نباتات الفلفل بالرش عند الإزهار ثم بعد ذلك بشهر وشهرين بأى من الكلورمكوات (السيكوسل CCC)، ونفثالين حامض الخليك (NAA)، وحامض الجبريلليك (GA_3)، والبيوزيم.. أحدث الرش بالبيوزيم زيادة جوهرية فى محصول الثمار، ولكن حوالى ٤٠٪ من الثمار لم تكن صالحة للتسويق، بينما أعطت المعاملة بالـ NAA أعلى محصول صالح للتسويق. وبينما لم تؤثر أى من المعاملات على صلابة الثمار، أو على محتواها من الكالسيوم، أو رقم الـ pH فيها مقارنة بثمار الكنترول، فإن المعاملة بحامض الجبريلليك أحدثت زيادة فى محتوى الثمار من حامض الأسكوربيك، بينما أحدثت المعاملة بأى من البيوزيم، أو حامض الجبريلليك، أو السيكوسل زيادة جوهرية فى محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية، وأحدثت المعاملة بالبيوزيم زيادة فى محتوى الثمار من كل من الفراكتوز، والسكروز، والمركبات الكاروتينية، والليكوبين (Belakbir وآخرون ١٩٩٨).

كذلك أدى رش نباتات الفلفل الحلو من صنف كاليفورنيا وندر بمستخلص الأعشاب البحرية ماكسى كروب Maxicrop (وهو مستخلص من *A. nodosum*) إلى تبكير الحصاد بنحو ١٠ أيام مقارنة بنباتات الكنترول، وزيادة أحجام الثمار، وزيادة محتواها من الكلوروفيل والمواد الصلبة الذائبة الكلية، بينما انخفضت فيها الحموضة المعايرة (Eris وآخرون ١٩٩٥).

كذلك أحدثت المعاملة بمنشطات النمو الطبيعية لنباتات الفلفل النامية فى مزرعة مائية زيادة فى النشاط المضاد للأكسدة وفى محتوى الثمار من حامض الأسكوربيك

والفينولات، وكذلك فى محتوى الأوراق من الصبغات، وزيادة فى محصول الثمار (Paradikovic وآخرون ٢٠١١).

ويُعد مستخلص الطحالب Actiwave (المستخلص من الطحلب *Ascophillum nodosum*) من المستخلصات الطحلبية المحفزة للأيض النباتى، لما يحتويه من كاهيدرين Kahydrin، وحامض الألجينيك alginic acid، والبيتانات betains، وهى التى تتفاعل معًا بصورة تداؤبية لتزيد من كفاءة المنتج، الذى يُعتقد بأنه يزيد من امتصاص النباتات المعاملة به للعناصر ومن تحملها للشدّ البيئى (Spinelli وآخرون ٢٠١٠).

وفى المقابل .. فقد أوضحت بعض الدراسات أن المعاملة بمستخلصات الطحالب البحرية ليست دائمًا إيجابية، كما يلى:

• ذُكر أن مستخلصات الطحالب البحرية التى تحتوى على تركيزات عالية من السيتوكينيات تُنشط نمو عديد من الأنواع النباتية، لكن ليس مع كل الأنواع. وقد أوضحت دراسة أجريت على الفاصوليا والطماطم أن المعاملة الأرضية أو رشًا بمستخلص أحد الطحالب البحرية الذى يحتوى على سيتوكينين أدت إلى زيادة قدرة دودة القطن الصغرى *Spodoptera exigua* على النمو، كما كان للمعاملة — أحيانًا — تأثيرات سلبية على النمو النباتى (Reitz & Trumble ١٩٩٦).

• دُرس تأثير بعض مستخلصات الطحالب البحرية على نمو ومحصول عدد من محاصيل الخضر، كان منها: البسلة والفاصوليا، والبطاطس، والكرنب، والذرة السكرية، والخيار، ولكن لم يتبين وجود تأثير إيجابى لأى من المستخلصات (والتى تضمنت المستخلصين التجاريين Maxicrop، و Micro-Mist، ومستخلص للطحلب *Ascophyllum nodosum*) على أى من الخضر. ليس هذا فقط، بل كان للتركيزات العالية من *A. nodosum* تأثيرات سلبية قليلة على المحصول (Warman & Munro-Warman ١٩٩٣).

• كذلك وجد أن رش نباتات الطماطم بأى من مستخلص الطحالب البحرية، أو مسحوق الأسماك لم يحسن من المحصول أو صفات جودة ثمار الطماطم المنتجة عضويًّا (Tourte وآخرون ٢٠٠٠).

• ولم يجد Passam وآخرون (١٩٩٥) تأثيرات إيجابية ثابتة لرش الخيار بمستخلصات حشائش البحر (المستخلص المركز ماكسى كروب Maxicrop Concentrate) بتركيز ٥٠ مل من المستخلص/لتر كل ١٤ يومًا.. لم يجدوا تأثيرات إيجابية لاستعمالها على أى من معدل النمو، والمحصول المبكر، وقدرة الثمار على الاحتفاظ بلونها الأخضر أثناء التخزين بعد الحصاد؛ حيث اختلفت النتائج المتحصل عليها بين عدم التأثير، والتأثير الإيجابى باختلاف الأصناف، وباختلاف درجة حرارة تخزين الثمار.

الجليسين بيتين

يُحصل على الجليسين بيتين glycinebetaine من بنجر السكر أثناء عملية استخلاص السكر، وهو مركب آمن، وغير سام، وقابل للذوبان فى الماء، ويتواجد فى الخلايا الحيوانية والنباتية والميكروبية. وعند نمو النباتات تحت ظروف من الشدّ البيئى فإن غالبية النباتات المحبة للملوحة تقوم تمثيل الجليسين بيتين فى كلوروبلاستيداتها الخضراء وتخزينها كمركب واقٍ لها من الضغط الأسموزى العالى. ولقد وجد أن محصول ثمار نباتات الطماطم النامية فى أراضٍ ملحية أو التى تعرضت لحرارة عالية ازداد بمقدار ٣٩٪ عندما رُشت النباتات بالجليسين بيتين خلال مرحلة الإزهار. كذلك وجد أن المعاملة تزيد من معدل البناء الضوئى فى أوراق الطماطم فى كل من ظروف الرى المناسب والشدّ الملحى (Makela وآخرون ١٩٩٨).

وقد وُجد أن معاملة الطماطم مع ماء الرى بالتنقيط بالجليسين بيتين glycinebetaine باستخدام المستخلص الخام أو المستخلص النقى أدت إلى زيادة محصول الطماطم، وخاصة فى الموسم الحار الذى ازدادت فيه شدة الإصابة بتعفن

الطرف الزهرى، بينما قللت المعاملة – جوهريًّا – من ظهور هذا العيب الفسيولوجى؛ مما أدى إلى زيادة المحصول الكلى لأكثر من ضعف معاملة الكنترول. وكان استخدام المستخلص الخام أفضل – فى هذا الشأن – من استخدام المستخلص النقى. ولقد أخَّرت المعاملة من شيخوخة الأوراق، وحفزت النمو الجذرى وعملية البناء الضوئى بالأوراق (Kanechi وآخرون ٢٠١٣).

حامض اللاكتيك

أدى رش نباتات الطماطم والخيار والفاصوليا بالتحضير التجارى لاكتوفول lactofol (الذى يحتوى على حامض اللاكتيك وعناصر مغذية) إلى زيادة المساحة الورقية، وكمية المحصول وجودته، بالإضافة إلى زيادة المحتوى الكلوروفيلى للأوراق والكفاءة التمثيلية net assimilation rate والقدرة الأكبر على النمو فى الظروف غير المثالية (Bohme وآخرون ٢٠٠٠).

الشيتين والشيتوسان

أدت معاملة مراقد بذور الطماطم بالشيتين chitin بمعدل ٢جم/م^{٢} بعد الإنبات بـ ٥، و١٠، و١٥ يومًا إلى زيادة النمو النباتى جوهريًّا، وإلى زيادة نسبة الجذور التى استعمرتها الميكوريزا، وذلك مقارنة بما حدث فى معاملة الكنترول (Iglesias وآخرون ١٩٩٤).

كما أدت معاملة التربة بالشيتوسان chitosan إلى تحسين نمو الطماطم والخس، وكان اللون الأخضر للأوراق أكثر دكنة جراء المعاملة (Chibu & Shibayama ١٩٩٩).

متعددات الأمين

وجد أن رش البصل (صنف جيزة ٢٠) بالبوترسين putrescine بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون أو بالجلوتامين glutamine بتركيز ٢٠٠ جزء فى المليون منفردين أو مجتمعين أدى إلى زيادة محصول الأبصال وجودتها؛ فقد أدت المعاملة إلى تحفيز النمو الخضرى (طول النبات، وعدد الأوراق ووزنها الرطب والجاف/نبات، والوزن الجاف

والرطب/نبات، والمساحة الورقية/نبات، وطول وقطر البصلة)، ومحصول الأبصال وجودتها التى تمثلت فى محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية، والمركبات الكبريتية، والفينولات الذائبة الكلية، والأحماض الأمينية الحرة الكلية، وصبغات البناء الضوئى الكلية بالأوراق (Amin وآخرون ٢٠١١).

الماء المشبع بالدخان

دُرس تأثير الماء المشبع بالدخان smoke-water وتأثير البيوتينولايد butenolide النقى (وهو المادة الفعالة فى الدخان التى تحفز إنبات بذور عديد من الأنواع النباتية) على نمو بادرات البامية والطماطم. وقد وجد أن معاملة بادرات البامية بماء الدخان (١ : ٥٠٠ حجم/حجم) أحدثت زيادة جوهرية فى نسبة طول النمو الخضرى إلى الجذور، ونسبة الوزن الطازج للنمو الخضرى إلى الوزن الجاف، وعدد الأوراق، والمساحة الورقية الكلية، وسمك الساق مقارنة بما حدث فى نباتات الكنترول، كذلك أحدثت المعاملة زيادة جوهرية فى معدل النمو المطلق absolute growth rate الأسبوعى. وفى الطماطم.. أحدثت المعاملة بأى من ماء الدخان أو البيوتينولايد زيادة واضحة فى نمو البادرات، وازدادت معظم قياسات النمو التى تم تسجيلها جوهريًا؛ مما أدى إلى إحداث زيادة جوهرية فى كل من دليل قوة نمو البادرات seedling vigor index، وفى معدل النمو المطلق الأسبوعى. ويُستدل من تلك النتائج على أن المعاملة بماء الدخان أو البيوتينولايد قد تكون وسيلة رخيصة وفعالة لزيادة قوة نمو بادرات الخضر (Kulkarni وآخرون ٢٠٠٧).

خل الخشب والمستخلصات البيولوجية المتخمرة

وجد أن معاملة الطماطم مع ماء الرى أو رشًا على النموات الخضرية بعد الإنبات بثلاثين يومًا ثم كل ١٠ أيام بأى من خل الخشب wood vinegar (بتخفيف ١ : ٨٠٠) أو المستخلصات البيولوجية لبقايا نباتية وحيوانية متخمرة fermented bioextracts (بتخفيف ١ : ٥٠٠) أحدثت زيادة فى محصول الثمار وزيادة جوهرية

جدًا فى محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية، مع زيادات صغيرة فى الوزن الجاف الكلى للنبات وعدد الثمار ووزنها، وكان تأثير المعاملة المشتركة بكل من خل الخشب والمستخلصات البيولوجية للبقايا المتخمرة أفضل من المعاملة المنفردة بأى منهما (Mungkunkamchao وآخرون ٢٠١٣).

الميثانول

اكتشف أحد المزارعين بولاية أريزونا الأمريكية أن رش النباتات بمحلول مخفف (٢٠٪) من الميثانول methanol (كحول الخشب wood alchol) يحفز نموها.

وقد أخضع A. Nonomura هذه الملاحظة للدراسة العلمية؛ حيث وجد أن نباتات القطن تذبل فى منتصف النهار بسبب عجز النبات عن امتصاص كل احتياجاته من الرطوبة الأرضية فى تلك الفترة. ويؤدى الذبول إلى إغلاق الثغور؛ وبذا يقل معدل البناء الضوئى، ويزيد — فى الوقت نفسه — معدل التنفس الظلامى بسبب انخفاض مستوى ثانى أكسيد الكربون داخل الورقة.

وعندما قام Nonomura برش نباتات القطن الذابلة (فى وسط النهار) بمحلول مخفف من الميثانول اختفى الذبول، وانفتحت الثغور، واستعاد النبات نشاطه فى البناء الضوئى بالمعدلات السابقة، كما انخفض معدل التنفس الظلامى. وترتب على ذلك حدوث زيادة جوهرية فى معدل النمو، وتبكير تكوين اللوز بمقدار أسبوعين.

كذلك أدى الرش بمحاليل مخففة من الميثانول إلى زيادة حجم رؤوس الكرنب، وزيادة محصول البطيخ بمقدار ٣٦٪، وزيادة النمو فى كل من القمح والشعير، وزيادة النمو الخضرى للطماطم بمقدار ٥٠٪ خلال ٣٠ يومًا من المعاملة.

وبالمقارنة.. فإن الذرة — وهو محصول C_4 — لا تختل فيه عملية البناء الضوئى فى منتصف النهار، ولا يحدث فيه تنفس ظلامى؛ ولذا.. فإنه لا ينتظر استجابته لمعاملة الميثانول، كما لا ينتظر استجابة أى من نباتات الـ C_4 — كذلك — لتلك المعاملة، وهو ما أمكن إثباته تجريبيًا فى كل من الذرة وحشيشة برمودا.

ويبدو أن دور الميثانول فى النبات يكون من خلال عملية يؤثر فيها الضوء. ولا يعتقد أن النبات يستعمل الميثانول كمصدر للكربون (بالرغم من أن هذا يحدث فى الطحالب)؛ نظرًا لأن الكميات التى تُستخدم أقل — بكثير — من أن تفسر الزيادات المشاهدة فى النمو والمحصول. ويعتقد — على الأرجح — أن الميثانول ينظم إحدى العمليات الأساسية فى النبات (عن Chrispeels & Sadava ١٩٩٤).

كذلك وجد أن المعاملة بالميثانول تُحدث زيادة كبيرة فى إنتاجية النباتات وتقلل من الاحتياجات المائية فى الزراعة الصحراوية. وفى محاولة للتعرف على الأساس الفسيولوجى لتلك التأثيرات دُرس تأثير المعاملة على أيض الأنسجة النباتية، وتبين أن معدل انطلاق الحرارة الناتجة من التنفس يزداد عند التعرض لفترة قصيرة لمحلول مائى من الميثانول يحتوى على تركيزات تقل عن التركيزات السامة، وتناسبت الزيادة فى معدل انطلاق الحرارة طرديًّا مع الزيادة فى تركيز الميثانول. وقد نتج عن المعاملة بالميثانول زيادة فى كفاءة تحول الكربون. وأدى تعريض ورقة واحدة (من الفلفل أو الطماطم) للميثانول إلى إحداث استجابة جهازية فى جميع أجزاء النبات خلال ساعات قليلة، ترتبت عليها زيادة فى معدل الأيض فى كل النبات دامت لعدة أسابيع. وربما يُعلل ذلك زيادة الإنتاجية التى لوحظت جراء المعاملة بالإيثانول فى بعض الدراسات الحقلية (Hemming وآخرون ١٩٩٥).

وعندما دُرس تأثير معاملة الطماطم عن طريق الجذور أو رش النموات الخضرية بمحلول مائى من الإيثانول أو الميثانول بتركيزات تراوحت بين ٥٪ إلى ٢٠٪ (حجم/حجم)، وجد أن المعاملة عن طريق الجذور أحدثت ضررًا شديدًا بالنباتات، بينما أحدثت معاملة الرش للنموات الهوائية تحفيزًا جوهريًّا للنمو. وتسبب كلا الكحولين فى زيادة الوزن الطازج والوزن الجاف لكل من الأوراق والسيقان، وكان أقوى تأثير عند المعاملة بأعلى تركيز. كذلك وجد أن الميثانول أحدث زيادة أكبر فى طول الساق وفى الوزن الطازج والوزن الجاف للسيقان عما أحدثته معاملة الإيثانول (Rowe وآخرون ١٩٩٤).

وأوضحت دراسة أُجريت على كل من الفول صغير الحبة *Vicia faba minor* وبنجر السكر أن رش الأوراق ثلاث مرات بمحلول الميثانول بتركيز ٣٠٪ قد يُفيد كبديل للرى الإضافى فى المناطق الجافة وشبه الجافة، حيث أدت المعاملة إلى زيادة المحصول وتحفيز العمليات الفسيولوجية فى النباتات، وخاصة معدل البناء الضوئى والنتح (Zbieć وآخرون ٢٠٠٧).

هذا إلا أن نتائج تلك الدراسات ما زالت غير مؤكدة؛ نظرًا لأن هذه المعاملات أُخضعت للدراسة فى مناطق أخرى ولم تكن مجدية. ففى كاليفورنيا.. تبين أن المعاملة بالميثانول ٣-٦ مرات (بتركيز ١٦٪ -٣٥٪ بالحجم) لم يكن لها أية تأثيرات إيجابية على النمو الخضرى، أو المحصول، أو صفات الثمار (متوسط وزن الثمرة، ومحتواها من المواد الصلبة الذائبة)، أو التبكير فى النضج فى أى من المحاصيل التى استخدمت فى الدراسة، وهى: الطماطم، والكنتالوب، والبطيخ (Hartz، وآخرون ١٩٩٤).

وفى دراسة لاحقة أجريت — كذلك — فى كاليفورنيا (McGiffen وآخرون ١٩٩٥)، وتضمنت ثمانية محاصيل حقلية وبستانية، زرعت فى ظروف بيئية متباينة، وسمدت أو لم تُسَمَّدْ.. لم تكن للمعاملة بالميثانول أية تأثيرات إيجابية على النمو النباتى أو المحصول فى أى منها.

وفى أوريجون.. لم تكن لمعاملة الميثانول بتركيز ٢٠٪، أو ٤٠٪، أو ٦٠٪ أية تأثيرات على محصول البطاطس ونوعية درناتها، أو على كفاءة النباتات فى الاستفادة من الرطوبة الأرضية (Feibert وآخرون ١٩٩٥).

ولم تكن معاملة الرش بالميثانول فعالة فى تحفيز محاصيل الخضر التى عُوملت به، والتى تضمنت: الكنتالوب، والفلفل، والكرنب، والقنبيط، والبصل (Esensee وآخرون ١٩٩٥).

وعمومًا .. يُستدل من عديد من الدراسات التى أجريت على المعاملة بالميثانول أنه ليس محفزًا للإنتاج النباتى يمكن الوثوق به أو الاعتماد عليه؛ فلم يمكن الحصول على نتائج مؤكدة ومنتظمة بهذا الخصوص (McGiffen & Manthey ١٩٩٦).

الفصل الخامس عشر

التغلب على تحديات إنتاج الخضر باستخدام منظمات النمو

دور منظمات النمو فى مختلف مراحل النمو والتطور

إنبات البذور الساكنة

وجدت علاقة قوية بين إنبات البذور وأربع مجاميع من منظمات النمو؛ هى:

١- الجبريللينات:

وهى أكثر منظمات النمو تأثيرًا على إنبات البذور. فمثلاً.. وجد فى بذور الشعير أن امتصاص البذور غير الساكنة quicsent للماء يؤدى إلى ظهور الجبريللين فى الجنين، ثم انتقاله إلى طبقة الأليرون (وهى طبقة مكونة من ٣-٤ خلايا تحيط بالإندوسبرم)؛ حيث يؤدى إلى تكوين إنزيم ألفا أميليز α-amylase، الذى ينتقل إلى الإندوسبرم؛ إذ يساعد على تحول النشا إلى سكر، الذى ينتقل بدوره إلى أماكن نمو الجنين لإمداده بالطاقة اللازمة للنمو. كما يعمل الجبريللين على إنتاج أو تنشيط إنتاج إنزيمات أخرى فى بذور الشعير.

٢- حامض الأبسيسيك:

يمكن لهذا الهرمون الطبيعى وقف تأثير الجبريللين المحفز للإنبات. وتدل الدراسات التى أُجريت على بذور الشعير أن حامض الأبسيسيك يوقف تأثير الجبريللين المحفز لإنتاج إنزيم ألفا أميليز بمنعه من تمثيل الريبونيو كليك أسِد (RNA)

٣- السيتوكينينات:

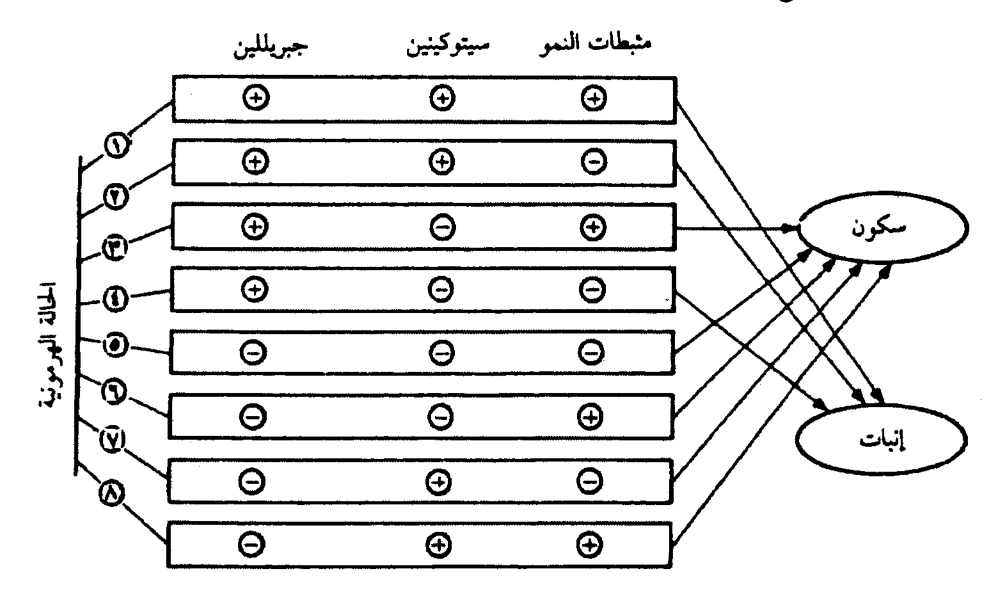
تتحكم السيتوكينينات فى إنبات البذور (ربما على مستوى تمثيل البروتين). وفى بعض النباتات يمكن للسيتوكينينات التغلب على تأثير حامض الأبسيسيك المثبط لفعل الجبريللين.

٤- الإيثيلين:

وجد أن للإيثيلين علاقة بإنبات البذور فى بعض النباتات.

ويعتقد معظم علماء فسيولوجيا النبات أن الإنبات يتوقف على وجود توازن ديناميكى بين منظمات النمو المشجعة والمثبطة للإنبات بالبذور. وتعتبر الجبريللينات من أكثر

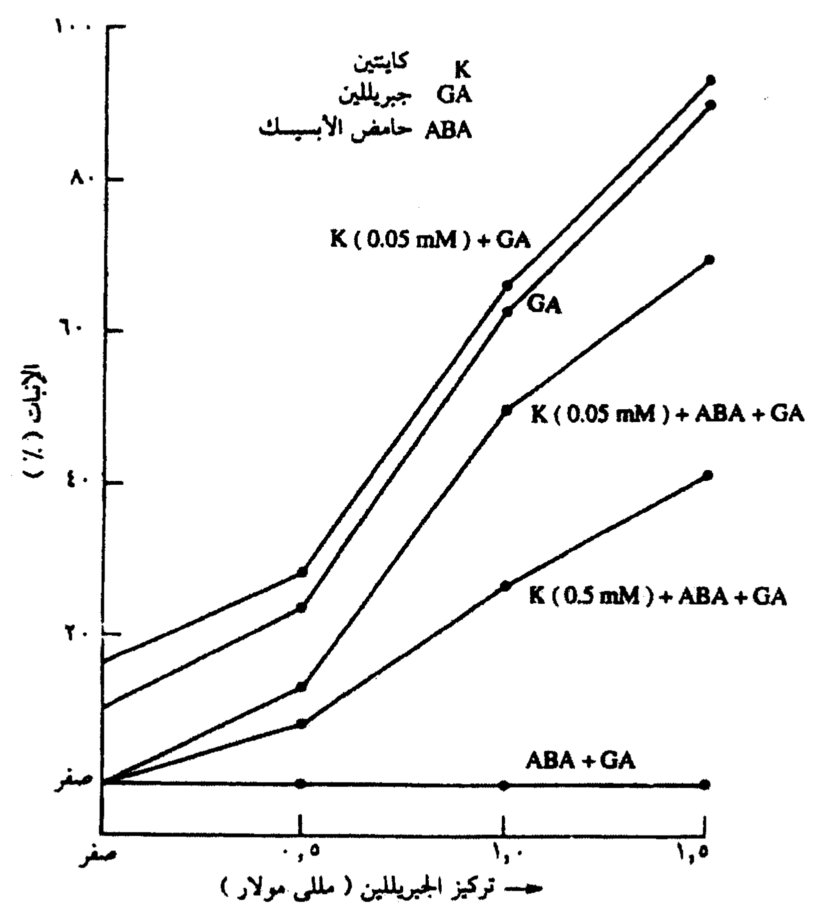
مشجعات الإنبات، وحامض الأبسيسيك من أكثر مثبطات الإنبات تأثيرًا. وتبعًا لشكل (١٥-١)، فإن الإنبات لا يحدث إلا فى وجود الجبريللين. وعند وجود مثبط للإنبات، فإنه يمنع فعل الجبريللين ولا يحدث إنبات (الحالة رقم ٣)، لكن إضافة السيتوكينين توقف فعل المثبط، وتسمح بالإنبات (الحالة رقم ١).



شكل (١٥-١): تأثير المجاميع المختلفة لمنظمات النمو على إنبات البذور.

هذا.. ولا تنبت بذور الخس من صنف جراند رابيدز Grand Rapids فى الظلام، ولكن الإنبات يحدث عند معاملة البذور بالجبريللين. وتؤدى إضافة حامض الأبسيسيك مع الجبريللين إلى وقف تأثير الجبريللين. كما تؤدى إضافة الكينتين إلى وقف فعل حامض الأبسيسيك جزئيًا، إلا أنه لا يزيد من فعل الجبريللين، كما فى شكل (١٥-٢).

كما يحدث إنبات كامل لبذور نفس الصنف فى الضوء، ولكن حامض الأبسيسيك يمنع هذا الإنبات فى الضوء. وتتناسب شدة التأثير على الإنبات مع تركيز الحامض. ويتحسن الإنبات جزئيًا عند إضافة الكينتين (شكل ١٥-٣) (عن Hartmann & Kester ١٩٧٥).

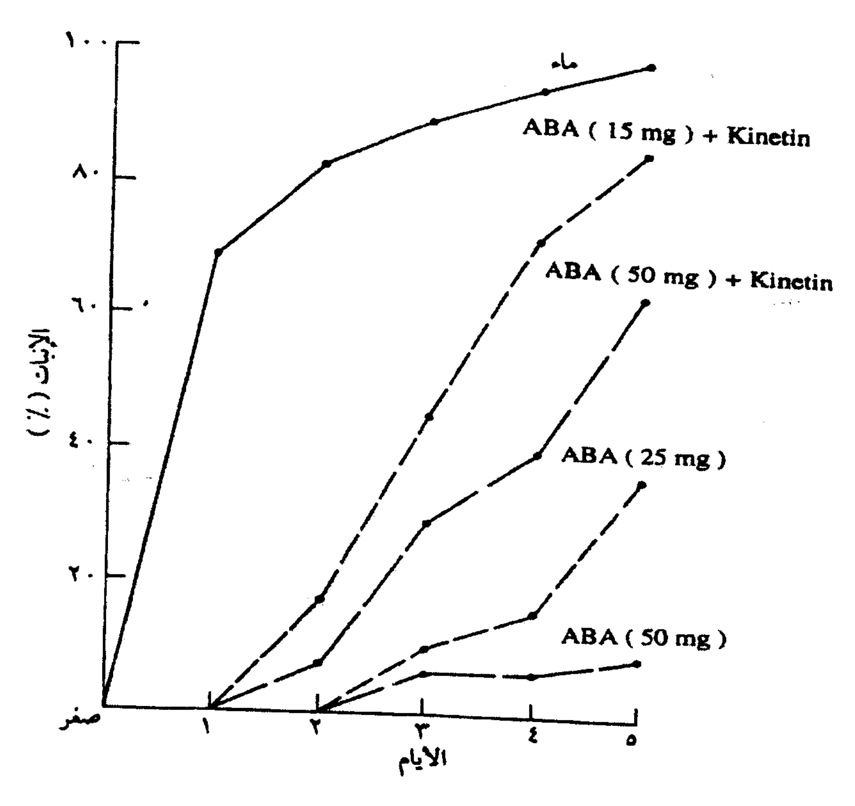


شكل (١٥-٢): تأثير منظمات النمو على إنبات بذور الخس صنف Grand Rapis فى الظلام.

الإزهار والنسبة الجنسية

١- الجبريللينات

أ- يسرع الجبريللين من إزهار بعض نباتات النهار الطويل فى النهار القصير، كما فى حالة الكرنب الصينى، والهندباء، والخس، والفجل، والسبانخ. ويلاحظ أن جميع هذه النباتات ذات ساق قصيرة تخرج عليها الأوراق متزاحمة (أى ذات نمو متورد rosette) قبل أن تتجه نحو الإزهار.



شكل (١٥-٣): تأثير منظمات النمو على إنبات الخس صنف Grand Rapid فى الضوء.

ب- يمنع الجبريللين إزهار بعض نباتات النهار الطويل فى النهار الطويل، كما فى *Lemna gibba*.

ج- يسرع الجبريللين من استطالة سيقان نباتات النهار الطويل فى النهار القصير، لكن النباتات لا تزهر، كما فى البنجر والخس البرى *Lactuca scariola*.

د- ليس للجبريللين أى تأثير على الإزهار أو استطالة الساق، كما فى *Anthriscus cerefolium* (أو الـ Chervil).

هـ- يسرع الجبريللين من إزهار بعض نباتات النهار القصير فى النهار الطويل، كما فى النوع *Cannabis sativa*.

و- يمنع الجبريللين – أو يؤخر – إزهار بعض نباتات النهار القصير فى النهار الطويل، كما فى الفراولة *Fragaria × ananassa* .

ز- لا تأثير للجبريللين على إزهار بعض نباتات النهار القصير، كما فى النوع *Xanthium strumarium* (Vince-Prue ١٩٧٥).

ح- تفيد المعاملة بالجبريللين كبديل عن الارتباع فى إزهار عديد من النباتات؛ كما فى الكرنب، واللفت، والبنجر، والجزر، والهندباء، والبقدونس، لكن هذه القاعدة لا تنطبق على كل النباتات التى تحتاج إلى الارتباع لكى تزهر (Leopold & Kriedmann ١٩٧٥).

وإذا كانت النباتات تحتاج بطبيعتها إلى التعرض للارتباع، ثم للنهار الطويل لكى تزهر، فإن المعاملة بالجبريللين تحل محل الحاجة إلى عملية الارتباع، ويلزم تعريض النباتات للنهار الطويل بعد ذلك حتى تزهر.

هذا.. ويسود الاعتقاد بأن الجبريللينات ليست هى نفسها هرمونات الإزهار، ومن الأدلة على ذلك ما يلى:

أ- تعتبر الجبريللينات قليلة التأثير على النباتات القصيرة النهار، برغم أن تجارب التطعيم قد أثبتت أن هرمون الإزهار واحد فى كل من النباتات الطويلة النهار والنباتات القصيرة النهار.

ب- لا تؤثر الجبريللينات على كل النباتات الطويلة النهار، وإنما على النباتات ذات النمو المتورد rosette فقط (Hess ١٩٧٥).

٢- السيتوكينينات

أ- تشجع السيتوكينينات إزهار عديد من نباتات النهار القصير، وتؤدى إلى إزهار بعضها، كما تؤدى أيضًا إلى إزهار بعض نباتات النهار الطويل.

ب- تفيد المعاملة بكل من السيتوكينين والجبريللين معًا فى إزهار بعض نباتات النهار القصير.

٣- الأبسيسين

تؤدى المعاملة بحامض الأبسيسيك إلى إسراع الإزهار، أو إلى التهيئة للإزهار فى بعض نباتات النهار القصير.

٤- الإثيلين

يشجع الإثيلين إزهار بعض النباتات.

٥- مواد أخرى

أ- لكل من n-arylphthalamic acid، و2,3,5-triiodonenzoic acid تأثيرات واضحة على إزهار الطماطم، حيث تؤدى المعاملة بأى منهما إلى تحفيز الإزهار أو إلى إحداث تحورات فى تكوين الأزهار (عن Wittwer ١٩٨٣).

ب- يعمل المركب Aminoethoxyvinylgycine (اختصارًا: AVG) كمثبط لتمثيل الإثيلين؛ ولذا.. فإنه يؤثر على النسبة الجنسية فى القرعيات؛ حيث يزيد من نسبة الأزهار المذكرة. كما أنه يحفز تكوين الأزهار المذكرة فى الخيار الأنثوى، والأزهار الكاملة فى الكنتالوب المؤنث.

ج- لكل من المركبين: phthalimids [الذى يعرف بالاسم الكيميائى (1-cyclohexene-1,2-dicarboximido)-cyclohexanecarboxomide]، وMCEB تأثيرات مماثلة لتأثير AVG على النسبة الجنسية فى القرعيات.. ولثلاثتهم تأثيرات مماثلة لتأثير الجبريللين على النسبة الجنسية (عن Wittwer ١٩٨٣).

د- تشجع المواد التالية على الإزهار فى بعض النباتات: فيتامين E، وبعض مخاليط الأحماض النووية، واليوريدين uridine، واليوراسيل uracil (عن Leopold & Kriedmann ١٩٧٥).

عقد الثمار

تعد الأوكسينات أهم منظمات النمو تأثيرًا على عقد الثمار. ومن الأوكسينات التى استخدمت فى تحسين العقد فى النباتات ما يلى (عن Avery ١٩٤٧):

o-chlorophenoxyacetic acid

p-chlorophenoxyacetic acid

2,4-dichlorophenoxyacetic acid

Indoleacetic acid

Indolebutyric acid

Indolepropionic acid

Napthaleneacetamide

Napthaleneacetic acid

Napthalenebutyric acid

β-Nathoxyacetic acid

β-Napthoxypropionic acid

Trichlorophenoxyacetic acid

وتستعمل الأوكسينات بصفة خاصة فى تحسين العقد فى الطماطم والفاصوليا، كما أمكن دفع الفلفل، والباذنجان، والخيار، والكوسة، والكنتالوب للعقد بدون تلقيح بالمعاملة بالأوكسينات، لكن هذه المعاملات لم تستخدم تجاريًّا؛ لأن الأزهار لا تتكون دفعة واحدة كما فى الفاصوليا، ولا فى عناقيد كما فى الطماطم.

كذلك أمكن إحداث عقد بكرى فى البطيخ بالمعاملة بالأوكسينات، لكن الثمار اللابذرية كانت صغيرة وذات جلد سميك وقليلة العصير، كما احتوت على بذور خالية من الأجنة، لكن شكلها كان كالبذور العادية.

ولا تعطى منظمات النمو نتائج جيدة مع الخضراوات التى تستهلك بذورها كالبقوليات الجافة.

وفى حالة الطماطم، فإن تحسين العقد يتم بالمعاملة بالأوكسينات؛ وذلك بجعل الثمار المتكونة ذات جيوب داخلية فارغة بمواقع المشيمة فى المساكن، لكن هذه الحالة (يطلق عليها اسم الجيوب Puffiness) يمكن التخفيف من حدتها بمعاملة العناقيد الزهرية بمخلوط من الأوكسينات مع الجبريللينات، بدلاً من الأوكسينات فقط (Yamaguchi ١٩٨٣).

يعد الأوكسين 4-chorophenoxyacetic acid من أكثر منظمات النمو استخدامًا لتحسين عقد الثمار فى الطماطم، وهو يستعمل رشًا بتركيز ٢٥-٣٠ جزءًا فى المليون على العناقيد الزهرية فقط، أو على النمو النباتى كله. ويكفى عادة ٤-٦ رشات، مع مرور ١٠ أيام بين الرشة والأخرى. وتكون الرشة الأولى عند تفتح أولى الأزهار فى العنقود الزهرى. وتفيد هذه المعاملة فى التغلب على مشكلة سوء العقد عند انخفاض درجة الحرارة ليلاً عن ١٣°م.

وفى الصين.. تغمس أزهار الطماطم — النامية تحت ظروف الحقل — يدويًا — فى محلول لأحد الأوكسينات، مثل:

2-methyl or 4-chlorophenoxyacetic acid (4-CPA).

2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid

2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D).

تؤدى هذه المعاملة — وخاصة بأى من 4-CPA أو 2,4-D — إلى إحداث زيادة كبيرة فى المحصول.

وتفيد كثيرًا المعاملة بالجبريللين مع أى من المنظمات النمو indoleacetic acid، أو 2-chloroethyltrimethylammonium chloride.. تفيد فى تحفيز عقد الثمار ونموها فى الطماطم والفلفل والباذنجان عند غياب التلقيح (عن Wittwer ١٩٨٣).

التجذير

يعد استعمال منظمات النمو فى دفع العقل نحو التجذير أو إسراع تجذيرها من أقدم الاستخدامات المعروفة لمنظمات النمو. كما يُعد إندول حامض البيوتيريك Indole buryric acid (اختصارًا: IBA) أفضل منظمات النمو لهذا الغرض، لأنه يتحلل ببطء نسبيًا فى النبات بواسطة الإنزيمات التى تحطم الأوكسينات، ولأنه بطئ الانتقال، ويبقى معظمه فى المنطقة المعاملة، وتلك صفة أخرى مرغوبة؛ وهو يستخدم فى تجذير معظم النباتات.

ومن المركبات الأخرى الشديدة الفاعلية، والتى تستعمل كثيرًا فى التجذير نفثالين حامض الخليك Napthalene acetic acid (اختصارًا: NAA)، وهو أكثر سمية للنباتات من إندول حامض البيوتريك؛ ولهذا تزيد احتمالات حدوث الأضرار بالنباتات المعاملة به.

ومن المركبات الأخرى كذلك اميدات (amide forms) كل من IBA وNAA. ويعتبر أميد الـ NAA أقل سمية وأكثر أمانًا فى الاستعمال من الحامض نفسه.

كما يستخدم عديد من مركبات الفينوكسى phenoxy فى التجذير؛ مثل: الـ -2,4 dichlorophenoxyacetic acid (اختصارًا: 2,4-D)، و 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid (اختصارًا: 2,4,5-T). وبرغم أنها تشجع التجذير عند استعمالها بتركيزات منخفضة، إلا أن التركيزات المناسبة للتجذير تعتبر قريبة من التركيزات السامة للنباتات؛ ولهذا.. فإنه لا يشيع استخدامها.

ويختلف نوع المجموع الجذرى المتكون باختلاف منظم النمو المستعمل؛ فأحماض الفينوكسى تنتج مجموعًا جذريًا قصيرًا وكثيفًا وذا جذور سميكة، بينما تنتج أحماض البيوتيريك مجموعًا جذريا ليفيًا قويا.

وتستعمل منظمات النمو فى التجذير بإحدى ثلاث طرق:

١-بالغمس السريع للأطراف القاعدية للعقل فى محلول مركز يمكن أن يصل تركيزه حتى ١٠٠٠٠ جزء فى المليون.

٢-بنقع قواعد العقل فتراتٍ محدودةٍ تصل إلى ٢٤ ساعة فى محاليل مخففة بتركيز ١٠- ٥٠٠ جزء فى المليون.

٣-بمعاملة قواعد العقل بمنظم النمو وهو فى صورة مسحوق مخلوط بمسحوق آخر مناسب بتركيز يتراوح بين ٥٠٠ و١٠٠٠ جزء فى المليون (Nickell ١٩٨٢).

تحمل شد الجفاف

وجد من الدراسات المبكرة أن معاملة النباتات ببعض مثبطات النمو — مثل Chlormequat، وPhosphon، وPhosphon S، وDaminozide — أن هذه المعاملات أدت إلى زيادة الوزن الجاف للجذور. كما أدت المعاملة بالـ Chlormequat إلى خفض معدل النتح من وحدة المساحة من الأوراق، بينما أدت منظمات النمو الأخرى إما إلى زيادة معدل النتح، وإما إلى عدم التأثير فى هذا الشأن. ومن الطبيعى أن زيادة النمو الجذرى مع نقص النمو الخضرى يؤديان إلى زيادة مقدرة النباتات على تحمل ظروف الجفاف. هذا.. ويؤدى حامض الأبسيسيك إلى إغلاق الثغور، وخفض معدل النتح.

كذلك استخدمت مضادات النتح antitranspirants؛ وهى التى تزيد من مقدرة النباتات على تحمل ظروف الجفاف، إما عن طريق إغلاقها للثغور، وإما بتغطيتها لسطح الأوراق بغشاء رقيق غير منفذ للرطوبة.

هذا.. وتوجد ثلاث طرق لخفض معدل النتح فى النباتات؛ هى:

١-المعاملة بمواد مثل اللبن النباتى latex، والسيليكون silicone لتغطية سطح الأوراق.

٢-استعمال مواد تؤدى إلى إغلاق الثغور؛ مثل حامض الأبسيسيك.

٣-المعاملة بمواد تؤدى إلى نقص النمو الخضرى وزيادة النمو الجذرى؛ مثل مثبطات النمو.

ومن أمثلة المركبات التى استخدمت كمضادات للنتح ما يلى (عن Nickell ١٩٨٢):

المركب	النباتات التى عوملت به
Abscisic acid	الشعير – الفاصوليا – الموالح – الخيار – الفلفل– الطماطم
Alachlor	الذرة
Alkenylsuccinic acid	التبغ
Chlormequat	دوار الشمس – الطماطم
2-Chlormercuri-4,6-dinitrophenol	*Datura arborea*
Daminozide	الطماطم
2,4-dinitrophenol	الطماطم
8-hydroxyquinoline	الطماطم – الفراولة
Indoleacetic acid	الطماطم
Chloreflurenol, methyl ester	الذرة
Phenylmercuric acetate	القطن – التبغ – الطماطم
Salicylaldoxime	*Datura arborea*

كذلك يُعد الأمبيول ambiol (وهو مشتق من 5-hydroxybenzimidazole) منشطًا للنمو، ومضادًّا للشدّ، ومضادًّا للأكسدة عندما تعامل به البذور قبل زراعتها. وقد وجد أنه يُخفِّض النتح ويُحفز النمو الجذرى بطريقة مماثلة لتأثير حامض الأبسيسك (McDonald وآخرون ٢٠٠٩).

تحمل شد البرودة والصقيع

أُجريت محاولات لاستعمال مثبطات النمو فى زيادة مقاومة النباتات للصقيع. ولقد وجد مثلاً أن أضرار الصقيع تنخفض بوضوح فى الكرنب الذى يعامل قبل تعرضه للحرارة المنخفضة بأى من الـ chlormequat، أو الـ daminozide. كذلك تفيد المعاملة بالـ chlormequat فى تقليل أضرار الصقيع فى الطماطم.

كما وجد أن حامض الأبسيسك يلعب دورًا فى مقاومة الخيار للبرودة. ويمكن أن

يحدث ذلك التأثير بالمعاملة بالحامض أو بزيادته داخليًا فى النباتات بتعريضها لظروف الجفاف.

وتفيد المعاملة بالـ 2-amino-6-methylbebzoic acid بمعدل نحو ٢٢٥ جم للفدان فى زيادة المقاومة للصقيع فى القمح والتبغ والعنب.

وتفيد المعاملة بمركبات الـ polyamine مثل الـ alkylene diamines ذات السلاسل الطويلة فى حماية عديد من النباتات من أضرار الصقيع والبرودة؛ كما فى فول الصويا، وفاصوليا الليما، والفاصوليا، والفول السودانى، والسبانخ، والخس، والطماطم.

كذلك تفيد المعاملة بأى من المركبات التالية فى إحداث زيادة جوهرية فى عدد نباتات الكوسة الزوكينى التى تتحمل دورة صقيع مدتها ٢٤ ساعة (عن Nickell ١٩٨٢):

5-chloro-4-quinoline carboxylic acid

2-chloro-4-quinoline carboxylic acid

2-trifluromethylquinoline acid

الدفاع النباتى ضد الأمراض والآفات والتجريح

تلعب عدة هرمونات ومنظمات نمو دورًا فى الدفاع النباتى، ومن أهمها الجاسمونات وحامض الأبسيسك والإيثيلين وحامض السلسيلك. وتعد الجاسمونات وحامض الأبسيسك الهرمونات الرئيسية فى الدفاع ضد التجريح wounding (بما فى ذلك الجروح التى تُحدثها آكلات الأعشاب herbivores)، بينما تلعب الجاسمونات والإيثيلين وحامض السلسيلك دورًا فى الدفاع ضد مسببات الأمراض، وتلعب الجاسمونات وحامض الأبسيسك دورًا فى الدفاع ضد عوامل الشدّ البيئى. هذا.. وكثير من البروتينات ذات الصلة بالدفاع، ومثبطات البروتينيز proteinase inhibitors وبعض الـ PR protiens (مثل الشيتينيز chitenases) ومركبات متطايرة (مثل

الألدهيدات المتطايرة) تُستحث بواسطة الجاسمونات أو يتم تمثيلها عن طريق مسارات مختلفة للتمثيل البيولوجي للجاسمونات (Srivastava ٢٠٠٨).

إن الجاسمونات jasmonates (وهي مجموعة من المركبات تعرف باسم oxylipins) تلعب دورًا في تنظيم النمو النباتي والدفاع، وهي واسعة الانتشار في النباتات، ونشطة في تركيزات منخفضة، وتتواجد طبيعيًا بكميات صغيرة، وذو تأثيرات متعددة. وهي تُعد من الهرمونات النباتية. ويمثّل حامض الجاسمونك من الحامض الدهني غير المشبع اللينولنك linolenic.

ومن المركبات الأخرى: الـ oligosuccharins، وهي كسرات قصيرة من عديدات التسكر oligosaccharides تنتج من الجدر الخلوية للنباتات والفطريات.

ومن المركبات الأخرى – كذلك – حامض السلسيلك salicylic acid.

وتلك المركبات قليلة التواجد ويبدو أنها تشكل جزءًا من مسارات الإشارات ذات الصلة بالدفاع النباتي (Srivastava ٢٠٠٨).

لقد أصبح حامض الجاسمونك jasmonic acid (اختصارًا: JA) والمثيل جاسمونات methyl jasmonate (اختصارًا: MeJA) – وهما مكونات متطايرة للزيت الأساسي للياسمين وحصى البان (الروزماري) وعديد من الأزهار الأخرى.. أصبحت محل اهتمام علماء فسيولوجيا النبات منذ بدايات ثمانينات القرن العشرين عندما وجدوا أنها تثبط نمو الجذور والقمم النامية وتحفز شيخوخة الأوراق؛ الأمر الذى حدا بالعلماء إلى اختبار تأثيراتها البيولوجية الأخرى. ولقد تبين حديثًا أن الجاسمونات هى المستحثات الرئيسية للدفاع النباتى ضد الإصابات الحشرية والمرضية ومختلف حالات الشدّ والاستجابات ذات الصلة بالشيخوخة. وتعد الجاسمونات والمثيل جاسمونات نشطة بيولوجيا، وهى ومشتقاتها تُكنى بالجاسمونات.

تنتشر الجاسمونات فى النباتات، حيث وجدت فى أكثر من ١٦٠ عائلة من مغطاة ومعراة البذور، وكذلك وجدت فى الطحالب الخضراء والحمراء وعديد من الفطريات.

والجاسمونات الطبيعية الرئيسية فى النباتات هى: JA-(-)، وMeJA، بينما توجد كميات قليلة من الصورة (+)-7-iso JA (Srivastava ٢٠٠٨).

تأثيرات أخرى

تستخدم منظمات النمو فى أغراض أخرى كثيرة؛ منها ما يلى:

١- منع التزريع فى المخازن

أكثر منظمات النمو استخدامًا فى هذا المجال هو الماليك هيدرازيد الذى ترش به نباتات البصل والبطاطس فى الحقل قبل النضج وهى ما زالت خضراء. كما يستخدم أيضًا كل من: Methyl ester of naphthalene acetic acid، و-Isopropyl-N-(3 chlorophenyl) carbamate مع البطاطس فى المخازن لمنع تزريع الدرنات (يراجع Smith ١٩٥٤ لتفاصيل هذا الموضوع).

٢- التأثير على النسبة الجنسية فى القرعيات

أكثر منظمات النمو استخدامًا فى مجال التأثير على النسبة الجنسية فى القرعيات هو الإثيفون لزيادة نسبة الأزهار المؤنثة، وحامض الجبريلليك لدفع السلالات الأنثوية gynecious لإنتاج بعض الأزهار المذكرة حتى يمكن إكثارها.

٣- مكافحة الحشائش

تستخدم بعض منظمات النمو كمبيدات للحشائش، وأكثرها استعمالاً فى هذا المجال مبيد الـ 2,4-D.

٤- تقصير النمو الخضرى

تستخدم منظمات النمو فى تقصير النمو الخضرى للنباتات بإحدى ثلاث طرق كما يلى:

أ- قتل البراعم الطرفية للفروع، أو تثبيط نشاطها الميرستيمى بشدة:

تستخدم لتحقيق ذلك مركبات؛ مثل MH، و TIBA، و ethephon، و fluorenols،

وجميعها مركبات توقف النشاط الميرستيمى، ولا يمكن استخدامها حينما يكون من الضرورى استمرار النشاط الورقى أو الزهرى الطبيعى. وبعض هذه المركبات — مثل الإثيفون، والـ TIBA — قد تزيد من التفريع، ومن ثم الإزهار، بينما تحد من ارتفاع النبات. كما أن الإثيفون قد يحفز الإزهار كما فى الأناناس.

ب- وقف استطالة السلاميات دون التأثير على النشاط الميرستيمى القمى:

يستخدم لأجل ذلك مثبطات النمو؛ مثل السيكوسيل، والألار، والأنسيميدول Ancymidol. تكون النباتات المعاملة طبيعية، ولكنها أقصر؛ حيث يوجد بها نفس العدد الطبيعى من الأوراق والسلاميات. وقد تعمل هذه المركبات كمضادات للجبريللينات.

ج- تقليل التحكم القمى فى النمو الجانبى:

تستعمل لأجل ذلك المركبات التى تحدث نموًّا متزامنًا (فى آن واحد) لعديد من الفروع الجانبية، ومنها الأحماض الدهنية، التى تضر — كذلك — بالميرستيم القمى، وكل من الـ TIBA، والـ fluorenols اللذين يمنعان انتقال الأوكسين، كما أن الـ fluorenols تثبط كذلك استطالة الفروع الجانبية.

هذا.. ولمعظم المركبات التى تقلل النمو الخضرى القدرة — كذلك — على تقليل النمو الجذرى. ويحدث ذلك أحيانًا دون أن تظهر أية أعراض جانبية سلبية على النباتات.

وتزيد فاعلية معظم المركبات المؤثرة على النمو الطولى للنباتات بمقدار مرتين أو ثلاث تحت ظروف البيوت المحمية مقارنة بفاعليتها تحت ظروف الحقل، وربما يرجع ذلك — جزئيًا — إلى الرطوبة النسبية التى تكون أعلى، وطبقة أديم البشرة التى تكون أقل سمكًا تحت ظروف الصوبات منها تحت ظروف الجو الخارجى.

كما يمكن زيادة فاعلية مركبات تثبيط النمو اثنتى عشرة مرة بخفض قطر قطرات محلول الرش من ٦٠٠٠ ميكرون إلى ٢٥ ميكرونًا. ويفيد ذلك — كذلك — فى

خفض كمية منظم النمو التى تلزم لإحداث نفس التأثير.

ويفيد استعمال مواد ناشرة مع محلول الرش — ومع زيادة الضغط المستعمل — فى الحصول على قطرات صغيرة للغاية، تنتشر لتكون غشاءً رقيقًا يغطى جميع الأسطح الورقية، ويبقى عليها — دون أن يتساقط منه شىء — إلى أن يتم امتصاصه والاستفادة الكاملة منه.

٥- التأثير على العمليات الأيضية

إن من أهم الاحتمالات الممكنة لاستخدامات منظمات النمو هو الاستفادة منها فى زيادة معدلات البناء الضوئى.

ومن المعروف أن لبعض منظمات النمو تأثيرات أيضية كثيرة؛ فمثلاً.. يزداد تركيز المواد الكربوهيدراتية فى الجدر الخلوية، وتركيز الصبغات الأنثوسيانينة عند معاملة الكريز بالألار. كذلك تؤدى معاملة التفاح بالألار إلى زيادة الكلوروفيل.

ويُحدِث استعمال مبيد الحشائش سيمازين — بكميات غير سامة — زيادة كبيرة فى المحصول ونسبة البروتين فى كل من الفاصوليا والبسلة.

وتؤدى إضافة N-Serve (وهو 2-chloro-6-(trichloromethyl)pyridine) إلى تقليل التسمم بالأمونيوم أو بالنترات؛ وبذا.. فإنه يفيد فى تحسين النمو (عن Hanan وآخرين ١٩٧٨).

وقد لخص Thomas & Barnes (١٩٨٢) الأسباب التى أعاقت محاولات استكشاف تأثيرات منظمات النمو على التمثيل والأيض فيما يلى:

أ- عدم اقتصار التأثير على جانب الأيض أو التمثيل فقط؛ حيث غالبًا ما يكون لمنظمات النمو تأثيرات أخرى سلبية على النوعية، وقد تتشوه الأوراق ... إلخ. كما أن معاملة الخضر الورقية — مثل الكرنب، والخس، والسبانخ — تؤدى إلى زيادة المحصول، ولكنها تسرع كذلك من نمو الشماريخ الزهرية، والإزهار، والوصول إلى الشيخوخة.

ب- اختلاف الأصناف فى استجابتها لمنظمات النمو:

وكمثال على ذلك.. تتفاوت أصناف كرنب بروكسل - كثيرًا - فى استجابتها للمعاملة بمثبط النمو PP413، حيث يستجيب بعضها للمعاملة بصورة أفضل من قطع النمو القمى يدويًّا، بينما يقل محصول بعضها الآخر مقارنة بالقطع اليدوى للنمو القمى. ويعد اختلاف استجابة الأصناف لمعاملات منظمات النمو هى القاعدة، وليست الاستثناء.

ج- محدودية المدى المناسب للتركيز الفعال؛ حيث تكون التركيزات المنخفضة الأقل من التركيز المناسب غير فعالة، بينما قد تحدث التركيزات الأعلى قليلاً منه تأثيرات ضارة بالنبات.

د- قد يكون توقيت المعاملة مُحدِّدًا وحاسمًا؛ حيث قد يلزم إجراؤها خلال مرحلة محددَة من النمو النباتى، وربما لا يمكن - عمليًّا - تحقيق ذلك؛ نظرًا لتباين النمو النباتى الذى يشاهد - عادة - فى الحقل الواحد.

هـ- اعتماد الاستجابة على توفر ظروف بيئية معينة، بينما لا يتوفر ذلك - غالبًا - مع اختلاف مواسم النمو ومناطق الزراعة.

و- اتجاه التأثير إلى أجزاء غير اقتصادية من النبات؛ حيث قد يزيد النمو، بينما لا يتغير دليل الحصاد. ففى الفاصوليا.. أدت المعاملة بثلاثة مثبطات للنمو إلى زيادة عدد الفروع، مع زيادة محصول البذور عليها، ونقصه - فى الوقت ذاته - فى الساق الرئيسية للنبات، ودون أية تأثيرات على المحصول الكلى للنبات.

ولمزيد من التفاصيل حول مختلف الهرمونات النباتية وتمثيلها ودورها فى النبات وطرق تقديرها.. يُراجع Srivastava (٢٠٠٢).

استخدامات منظمات النمو فى التغلب على تحديات إنتاج بعض الخضر

الطماطم

تؤثر مختلف منظمات النمو على الطماطم كما يلى (عن Singh ١٩٩٥):

منظم النمو	التأثير
Chlormequat chloride (اختصارًا: CCC) بتركيز ٥٠٠- ١٠٠٠ جزء فى المليون	ينظم النمو النباتى فيما يتعلق بارتفاع النبات وعدد الفروع
Daminozide (الألار Alar) بتركيز ٢٠٠- ٤٠٠ جزء فى المليون	يُساعد فى الإزهار والإثمار
Ethrel (الإثيفون ethephon) بتركيز ٢٠٠-٦٠٠ جزء فى المليون	يزيد المحصول والجودة ويسرع نضج الثمار
حامض الجبرلليك (GA_3) بتركيز ٥-١٠ أجزاء فى المليون	يحفز إنبات البذور ويستحث الإزهار
NAA، و 2,4-D بتركيز ٥-١٠ أجزاء فى المليون	يستحثان الإزهار المبكر ويحفزان عقد الثمار
Dikegulac	زيادة المحصول
Mixtalol (الـ triacontanol)	زيادة المحصول
PCPA (الـ 4-CPA)	زيادة المحصول
DCPTA (الـ dichlorophenoxytriethylaminc)	زيادة المحصول
DMM	زيادة المحصول
IAA	زيادة المحصول
ACC	زيادة المحصول
BA (الـ benzyladenine)	زيادة المحصول
cytokinin	زيادة المحصول

عقد الثمار

منظمات النمو المؤثرة فى العقد

تعد الأوكسينات Auxins، والجبريللينات Gibberrllis من أكثر منظمات النمو استعمالاً، وتأثيرًا على عقد الثمار فى الطماطم.

أولاً: الأوكسينات

ثبت أنه يمكن عقد ثمار الطماطم بكريًّا بمعاملة الإزهار بالأوكسين إندول حامض الخليك indole acetic acid، أو بمعاملة الأسطح المقطوعة لأقلام أزهار الطماطم بأى من الأوكسينين:

باراكلوروفينوكسى حامض الخليك parachlorophenoxyacetic acid، أو إستر الإثيل لإندول حامض الخليك ethylester of indole acetic acid. كما استخدم الأوكسين ٢- هيدروكسى ميثيل ٤- كلورو فينوكسى حامض الخليك 2-hydroxymethyle-4-chlorophenoxyacetic acid بنجاح فى عقد الثمار بتركيز ٥٠ جزء فى المليون رشًا على النبات كله، أو على العناقيد الزهرية فقط، حيث أدت المعاملة إلى تحسين العقد، وزيادة المحصول، والتبكير فى الحصاد بنحو ٣-٥ أيام مع عدم الإضرار بالنمو الخضرى بدرجة تذكر. وقد كان المحصول الكلى أعلى عند استعماله عما لو استعمل أى من منظمى النمو: بيتا نفثوكسى حامض الخليك β-naphthoxyacetic acid، أو بارا — كلورو فينوكسى حامض الخليك para-chlorophenoxyacetic acid (عن Wittwer & Bukovac ١٩٦٢).

ويتوفر عديد من التحضيرات التجارية للأوكسينات المستخدمة فى تحسين العقد فى درجات الحرارة غير المناسبة. ومن أمثلتها: بيتاپال Betapal الذى يحتوى على الأوكسين بيتا نفثوكسى حامض الخليك β-naphthoxyacetic acid، وتوماتون Tomatone الذى يحتوى على الأوكسين باراكلوروفينوكسى حامض الخليك (4-CPA). ويستعمل كلاهما بنجاح فى تحسين العقد فى كل من درجات الحرارة المنخفضة والمرتفعة على حد سواء (عن Picken & Grimmett ١٩٨٦)، و٣٦ سى 36C الذى يحتوى على منظم النمو بيتانفثوكسى حامض الخليك بنسبة ٤,٥٪، والذى ترش به الأزهار بتركيز ٢,٥ مل/لتر؛ حيث يؤدى إلى زيادة عدد الثمار/نبات، ومتوسط وزن الثمرة (Torre وآخرون ١٩٩٢).

ولقد أدى رش العناقيد الزهرية للطماطم فى أولى مراحل عقد الثمار، ثم مرتان بعد ذلك بتركيز ٢٥، و ٥٠، و١٠٠ جزء فى المليون من منظم النمو 4-CPA إلى تحسن كبير فى عقد الثمار، وزيادة المحصول تحت ظروف حرارية معاكسة سواءًا كانت بالارتفاع، أم بالانخفاض، ولم تختلف تركيزات منظم النمو المستعملة عن بعضها فى هذا الشأن (Ramin ٢٠٠٣).

ثانيًا: الجبريللينات

كان Wittwer و Bukovac هما أول من بيّنا أهمية استعمال الجبريللينات فى تحسين عقد الثمار فى الطماطم، وكان ذلك فى عام ١٩٥٧. ومع أن معظم دراستهما كانت باستعمال حامض الجبريلليك GA_3، إلا أنهما قارنا أيضًا تأثير الجبريللينات GA_1 إلى GA_9 على حجم الثمار الحديثة العقد بعد ٩ أيام من المعاملة. وقد كانت جميعها فعالة فى زيادة حجم الثمار جوهريًّا عند استعمالها بتركيز ٣ × ١٠^{-٤}، أو ٣ × ١٠^{-٣} مولار (عن Wittwer & Bukovac ١٩٦٢)، وقد تأيدت هذه النتائج بأبحاث آخرين؛ فَوُجد أن رش المجموع الخضرى للطماطم بحامض الجبريلليك مثلاً يؤدى إلى التبكير فى عقد الثمار ويزيد نسبته، وأن المعاملة بحامض الجبريلليك تؤدى إلى زيادة إنتاج الأوكسين فى مبايض الأزهار، ونموها بصورة مماثلة لنموها بعد التلقيح والإخصاب.

معاملات منظمات النمو فى الجو البارد

كان Wittwer من أوائل الذين درسوا إمكانيات تحسين العقد فى العنقود الزهرى الأول فى الزراعات المبكرة، والتى تنخفض خلالها درجة الحرارة أثناء الليل، بالمعاملة بمنظمات النمو. ففى دراسة أجريت فى ولاية ميتشيجان الأمريكية، عُومل العنقود الزهرى الأول فى صنفى الطماطم فيكتور Victor المبكر، ورتجرز Rutgers المتأخر بتركيز ٢٥ جزءًا فى المليون من الأوكسين بارا – كلورفينوكسى حامض الخليك Para-chlorophenoxyacetic acid (اختصارًا 4-CPA)، وتمكن من إجراء الحصاد مرتين من الصنف رتجرز المعامل قبل بدء الحصاد من الصنف فيكتور غير المعامل. كما تمكن من حصاد نحو نصف كيلو جرام من الثمار، من كل نبات معامل من الصنف فيكتور قبل بدء الحصاد من النباتات غير المعاملة من نفس الصنف. ووجد أن معاملة العناقيد الثلاثة الأولى من الصنف رتجرز أدت إلى زيادة المحصول الكلى بنسبة ٢٧٪، وحجم الثمار بنسبة ١١٪. وقد نصح الباحث بإجراء هذه المعاملة فى جميع المناطق التى تنخفض فيها درجة الحرارة ليلاً أثناء الإزهار عن ١٥°م (Wittwer ١٩٦٩).

كما نصح Wittwer (١٩٥٤) باستعمال أى من الأوكسينات التالية فى تحسين عقد الثمار فى الطماطم عند انخفاض درجة الحرارة أثناء الإزهار:

١- باراكلوروفينوكسى حامض الخليك para-chorophenoxyacetic acid بتركيز ٣٠ جزءًا فى المليون.

٢- ألفا أورثو - كلوروفينوكسى حامض البروبيونيك alpha-ortho-chlorophenoxypropionic acid بتركيز ٧٥- ١٠٠ جزءًا فى المليون.

٣- بيتانفثوكسى حامض الخليك beta-naphthoxy acetic acid بتركيز ٥٠- ١٠٠ جزءًا فى المليون.

وقد نصح الباحث بإعطاء أول رشة بعد تفتح ٣ أزهار بالعنقود، مع قصر الرش على العناقيد الزهرية فقط، وتوجيهه قدر المستطاع نحو الأزهار المتفتحة فقط، وتكراره أسبوعيًا، طالما وجدت أزهار متفتحة، واستمر انخفاض الحرارة عن ١٥°م

وعلى الرغم من هذه التأكيدات على طريقة المعاملة، إلا أن Singletary & Warren (١٩٥١) قد استعملا الأوكسينين: بارا - كلوروفينوكسى حامض الخليك بتركيز ٣٠ جزءًا فى المليون، وبيتا نفثوكسى حامض الخليك بتركيز ٥٠ جزءًا فى المليون، ولم يجدا فرقًا بين معاملتى رش النمو الخضرى كله، أو العناقيد الزهرية فقط، كذلك لم يجدا فرقًا بين معاملة الأزهار فى المراحل المختلفة لنموها، حيث أدت جميع المعاملات إلى إحداث زيادة جوهرية فى المحصول المبكر دون التأثير على المحصول الكلى عندما أجريت المعاملة أثناء انخفاض درجة الحرارة عن الحد الأدنى للمجال المناسب للعقد.

ويستخدم حامض فثالامك Phthalamic acid (يعرف تجاريًا باسم دوراست Duraset) بتركيز ٢٥٠٠ جزء فى المليون فى معاملة العناقيد الزهرية للطماطم. تبدأ المعاملة بعد ٨- ١٠ أيام من تحسن الأحوال الجوية بعد فترة تعرض النبات لدرجة حرارة تقل عن ١٢°م. أما إذا استمر الانخفاض فى درجة الحرارة لعدة ليالٍ متتالية،

فإن المعاملة تبدأ دون مزيد من التأخير، وتكرر كل ٧–١٠ أيام، طالما استمر الانخفاض في درجة الحرارة. ويحدد موعد الرش على أساس أن الأزهار المتفتحة بعد ٧ – ١٠ أيام من التعرض للجو البارد تخلو من حبوب اللقاح، وذلك بسبب التأثير الضار للحرارة المنخفضة على عملية تكوين الجاميطات المذكرة.

وقد قام Saez Alonso وآخرون (١٩٨٣) برش نباتات خمسة أصناف من الطماطم – النامية فى البيوت المحمية – أسبوعيًّا – بكلٍ من التحضيرين التجاريين التاليين:

١–توماتون Tomatone (وهو خليط من كل من بيتا نفثوكسى حامض الخليك، وباراكلورو فينوكسى حامض الخليك) بتركيز ١٠٠٠٠ جزءٍ فى المليون (١٠مل/لتر).

٢–بروكاربل Procarpil (وهو يحتوى على بيتانفثوكسى حامض الخليك) بتركيز ٣٠٠٠ جزءٍ فى المليون (٣ مل/لتر).

وعندما أجريت المعاملة فى حرارة تراوحت بين ١٢ و١٤°م كان متوسط محصول النبات الواحد ٤,١٥ كجم فى معاملة التوماتون، مقارنة بنحو ٢,١٢ كجم فى معاملة البروكاربل، و٠,٨ كجم فى معاملة الشاهد.

ولقد أدى انخفاض حرارة الليل عن ١٠°م إلى التأثير سلبيًّا على تكوين حبوب اللقاح والتلقيح والإخصاب فى أحد أصناف الطماطم الكريزية؛ مما أدى إلى انخفاض عدد البذور فى معظم الثِمار العاقدة، وهى التى كانت صغيرة الحجم وغير صالحة للتسويق. وقد أدى كل من إحداث الاهتزازات بالعناقيد الزهرية والمعاملة بمنظم النمو β-naphthoxyacetic acid (اختصارًا: β-NOA) إلى زيادة متوسط وزن الثمرة ونسبة الثمار الصالحة للتسويق، وكانت معاملة منظم النمو هى الأقوى تأثيرًا. وبالمقارنة.. لم يكن لأى من المعاملتين تأثيرًا فى الظروف الجوية المناسبة للعقد. هذا ولم تتسبب المعاملة بالـ β-NOA فى إحداث أى تأثيرات سلبية على الثمار من قبيل التشوهات والجيوب، وإن كانت بدون بذور، وبالعكس.. فقد تسببت المعاملة فى زيادة المادة الجافة والمواد الصلبة الذائبة بالثمار، بينما لم يتأثر لون الثمار وصلابتها ومحتواها الفينولى (Karapanos وآخرون ٢٠١٣).

معاملات منظمات النمو فى الجو الحار

يعد الأوكسين بارا–كلوروفينوكسى حامض الخليك para-chlorophenoxyacetic acid (اختصارًا 4-CPA) من أكثر منظمات النمو استعمالاً بغرض تحسين عقد الثمار فى الجو الحار. فقد أدى استعماله رشًا على العناقيد الزهرية بتركيز ٢٠ جزءًا فى المليون إلى تحسُّن كبير فى عقد الثمار فى حرارة ٣٢°م. وتفيد المعاملة عند إجرائها بعد تفتح الأزهار. لذا.. ينصح بتوجيه محلول الرش نحو الأزهار المتفتحة، بينما يضر رش المجموع الخضرى كله كثيرًا بالنبات نظرًا لحساسيته الشديدة لمنظم النمو عند ارتفاع درجة الحرارة (عن Singletary & Warren ١٩٥١).

كذلك يستخدم حامض فثالامك Phthalamic acid، والمعروف تجاريًا باسم دوراست فى تحسين عقد الثمار فى الجو الحار، حيث تعامل به النموات الخضرية بتركيز ٠,٢ – ٠,٣٪ عندما لا تقل درجة الحرارة نهارًا عن ٢٨°م، وليلاً عن ١٨– ٢٠°م لعدة أيام متتابعة. ويكرر الرش كل ٧–١٠ أيام طالما استمر الارتفاع فى درجة الحرارة. وتفيد التركيزات الأعلى من ذلك بقليل فى وقف النمو النباتى عند الرغبة فى ذلك.

وقد تمكن Mehta & Mathai (١٩٧٥) من زيادة نسبة العقد، والمحصول، وحجم الثمار فى الجو الحار بمعاملة نباتات الصنف بوسا روبى Pusa Ruby بأى من الأوكسين ٢، ٤ – داى كلوروفينوكسى حامض الخليك 2,4-dichlorphenoxyacetic acid بتركيز ٥ أجزاء فى المليون، أو نفثالين حامض الخليك naphalenecetic acid بتركيز ٢٠ جزءًا فى المليون. ولا شك أن التركيزات الأعلى من ذلك تضر كثيرًا بنباتات الطماطم، خاصة فى الجو الحار. فمثلاً ذُكِرَ أن استعمال الأوكسين بيتا نفثوكسى حامض الخليك بتركيز ٥٠ جزءًا فى المليون رشا على النبات قد أضرها كثيرًا.

وأعطى الرش بالـ 4-CPA (وهو: parachlorophenxyacetic acid) بتركيز ٢٠ جزءًا فى المليون أعلى تأثير معنوى على نباتات الطماطم صنف كاسل روك (شتلت فى ٤ يونية فى القليوبية) تمثل فى زيادة كل من نسبة العقد والمحصول المبكر والمحصول الكلى، وذلك مقارنة باستعمال تركيز ١٠ أجزاء فى المليون من نفس منظم النمو. أما منظمات النمو

الأخرى التى استعملت، وهى: N-m tolyphthalomic acid (اختصارًا: TPA)، و indol 3-acetic acid (اختصارًا: IAA)، و gibberellic acid (اختصارًا: GA_3)، فإنها لم تكن منتظمة فى تأثيرها، وتفوقت معاملة الكنترول — أحيانًا — على تلك المعاملات أو تساوت معها فى التأثير (El-Habbasha وآخرون ١٩٩٩).

لقد انخفضت نسبة العقد فى الطماطم من حوالى ٤٣٪ فى حرارة ٣٠/٢٠°م (نهار/ليل) إلى الصفر فى حرارة ٣٤/٢٠°م. وبينما أدى غمر العنقود الزهرى فى محلول 4-CPA بتركيز ٢٠ جزءًا فى المليون إلى تحسين العقد، فإن التحسن كان أكبر عندما كان غمر العنقود الزهرى فى محلول من مخلوط الـ 4-CPA مع الـ GA_3 بذات التركيز (٢٠ جزءًا فى المليون)، وخاصة عندما صاحبت الحرارة العالية نهار قصير (٨ ساعات مقارنة بنهار طوله ١٠ ساعات) (جدول ١٥-١). كذلك ازداد عدد الثمار غير المصابة بالجيوب عندما كانت المعاملة بالـ 4-CPA والجبريللين معًا (Sasaki وآخرون ٢٠٠٥).

جدول (١٥-١): تأثير المعاملة بمنظمى النمو 4-CPA، و 4-CPA/GA على نسبة عقد ثمار الطماطم فى العنقود الزهرى الأول فى ظروف متباينة من حرارة الليل والنهار والفترة الضوئية (Sasaki وآخرون ٢٠٠٥).

المعاملة	الحرارة (نهار/ليل م°)	نسبة عقد الثمار فى العنقود الزهرى الأول (٪)		
	الحرارة (نهار/ليل م°)	٣٠/٢٠	٣٤/٢٠	٣٤/٢٠
	الفترة الضوئية (ساعة)	١٢	٨	١٠
الكنترول (أ)		٤٢,٩ ب	٠,٠ ب	٠,٠ جـ
4-CPA		١٠٠,٠ أ	٥٩,٨ أ	٣٩,٨ ب
4-CPA/GA		٩١,٧ أ	٨٨,٠ أ	٧٥,٩ أ

أ- غُمست البراعم الزهرية فى ماء مقطر.

ب- غُمست البراعم الزهرية فى ٢٠مجم/لتر من الـ **4-chlorophenoxyacetic acid** (اختصارًا **4-CPA**)

ج- غُمست البراعم الزهرية فى ٢٠مجم/لتر من مخلوط من الـ **4-CPA** والجبريللينات (أساسًا GA_3 وقليل من الـ GA_1).

المرحلة المناسبة من النمو البرعمي والزهري للمعاملة بمنظمات النمو

بيَّن Avery وآخرون (١٩٤٧) تأثير المعاملة بمنظمات النمو أثناء المراحل المختلفة للنمو البرعمي والزهري على العقد، وصفات الثمار، ويمكن إيجاز ذلك فيما يلي:

١-تؤدى المعاملة فى أى وقت قبل تفتح الأزهار بنحو ثمانية أيام حتى قبيل تفتحها مباشرة إلى عدم تكوّن الأزهار بصورة طبيعية، فيحدث نقص واضح فى نسبة العقد، وحجم الثمار، وتكون الثمار المتكونة قليلة أو عديمة البذور.

٢-تؤدى المعاملة فى بداية مرحلة تفتح الأزهار (أى قبل اكتمال انفراج البتلات والتلقيح) إلى عقد ثمار جيدة، لكنها تخلو من البذور.

٣-تؤدى المعاملة بعد تفتح الأزهار بأربعة أيام إلى عقد ثمار جيدة تحتوى على البذور بصورة طبيعية.

ومن الطبيعى أن تؤدى المعاملة أثناء ارتفاع، أو انخفاض درجة الحرارة عن المجال المناسب للعقد الطبيعى إلى إنتاج ثمار بكرية، أو قليلة البذور أيًّا كانت مرحلة النمو المعاملة فيها البراعم أو الأزهار. ويستفاد مما تقدم فى محاولة توجيه محلول الرش نحو الأزهار المكتملة التفتح، مع تجنب وصول المحلول إلى البراعم الزهرية، والأزهار غير المكتملة التفتح قدر المستطاع، لكن نظرًا لصعوبة إجراء ذلك عمليًّا نجد أن الثمار الناتجة من المعاملة بمنظمات النمو تحتوى دائمًا على نسبة من الثمار غير المنتظمة الشكل، والثمار التى بها جيوب داخلية فى أماكن المساكن.

طرق المعاملة بمنظمات النمو

تتبع الطرق التالية فى المعاملة بمنظمات النمو على النطاقين العلمى (البحثى)، والعملى (التطبيقى):

١- الرش بالمحاليل المائية

تُذاب الكمية المطلوبة من منظم النمو فى ٢-٥ مل (سم^{٣}) من كحول الإثيل ٩٥٪، ثم يضاف الماء إلى أن يصل المحلول إلى الحجم المطلوب. يرج المحلول جيدًا قبل

الاستعمال، وترش به العناقيد الزهرية، أو النبات كله حسب منظم النمو، والتركيز المستخدم، وطريقة الزراعة والتربية، ودرجة الحرارة السائدة. ويفضل دائمًا توجيه محلول الرش نحو الأزهار المتفتحة أولاً بأول، ولا يمكن تحقيق ذلك إلا فى حالة التربية الرأسية للطماطم. ولا يجوز رش النبات كله ببعض منظمات النمو، لأنها تحدث تشوهات فى النمو الخضرى، خاصة فى الجو الحار، وعند استعمال تركيزات مرتفعة نسبيًا من الهرمون.

وقد دارت المناقشة السابقة كلها عن منظمات النمو حول استعمالها بهذه الطريقة، أى بطريقة الرش فى صورة محاليل مائية، ونعيد إيجازها فيما يلى:

يعتبر الأوكسين بارا – كلورفينوكسى حامض الخليك para-chlorophenoxy acetic acid (اختصارًا 4-CPA) من أهم منظمات النمو المستخدمة تجاريًا لتحسين عقد ثمار الطماطم فى الحالات التى تنحرف فيها درجة الحرارة بالارتفاع أو بالانخفاض — عن المجال المناسب للعقد، ويستعمل فى صورة محلول مائى بتركيز ٢٠– ٣٠ جزءًا فى المليون (حسب درجة الحرارة السائدة حيث يقل التركيز المستخدم فى الجو الحار)، ثم يرش به النبات كله، أو العناقيد الزهرية فقط. وتراعى فى حالة رش النبات ضرورة استعمال التركيزات المخففة، مع محاولة تجنب رش قمة النبات تفاديًا لوصول الهرمون إلى البراعم الزهرية وهى فى أطوارها المبكرة من النمو، حيث يؤدى ذلك إلى الإضرار بالتكوين الطبيعى لحبوب اللقاح، والبويضات. كما يفضل فى حالة رش النبات كله إجراء ٢–٣ رشات بتركيز منخفض عن رشة واحدة بتركيز مرتفع. أما فى حالة معاملة العناقيد الزهرية، فإنه يفضل تأخير أول رشة لحين تفتح ٣ أزهار أو أكثر بالعنقود، ويكرر الرش كل ٧–١٠ أيام حسب سرعة تفتح الأزهار الجديدة، طالما استمرت الظروف الحرارية غير المناسبة للعقد. ويعنى ذلك أن العنقود الواحد قد يرش مرتين. ومع أن محلول الرش يصل إلى العنقود كله، إلا أنه يجب أن يكون التركيز على الأزهار المتفتحة بتوجيه فوهة الرشاشة الصغيرة atomizer نحوها. ويراعى دائمًا هز العناقيد جيدًا أثناء معاملتها للمساعدة على التلقيح الطبيعى، إذ لا يجب أن يكون الهدف هو إحلال الهرمونات كلية محل حبوب اللقاح.

ويجب – دائمًا – مراعاة ألا يصل محلول الرش إلى القمة النامية للنبات.

٢- المعاملة بمستحلبات منظمات النمو

تقتصر المعاملة بمستحلبات منظمات النمو على الأغراض البحثية غالبًا. وإذا استعملت على النطاق التجارى، فإن ذلك يكون فى الزراعات المحمية فقط. تحضر منظمات النمو على شكل مستحبات فى اللانولين. وقد استعملت – بهذه الطريقة – الأوكسينات إندول حامض الخليك بتركيز ٢٠٠٠ جزء فى المليون، ونفثالين حامض الخليك بتركيز ٥٠ جزءًا فى المليون، و ٢، ٤ – داى كلورو فينوكسى حامض الخليك (مبيد الحشائش 2,4-D) بتركيز ١٠ أجزاء فى المليون.

يسخن اللانولين lanolin أولاً مع كمية مناسبة من حامض الاستيارك stearic acid إلى حرارة ٧٠ – ٨٠°م لتحضير مستحلب منظم النمو فى اللانولين lanolin مع تقليبهما جيدًا حتى يذوبا تمامًا. تلى ذلك إذابة منظم النمو فى كمية مناسبة من تراى إيثانولامين triethanolamine بتسخينهما معًا حتى حرارة ٧٠° – ٨٠°م مع التقليب، ثم يضاف لهما مخلوط حامض الاستيارك مع اللانولين، وتلى ذلك إضافة ماء مدفأ إلى الدرجة ذاتها مع التقليب، والاستمرار فى إضافة الماء ببطء حتى يتكون المستحلب، ثم يضاف ماء عادى بعد ذلك حتى يصل المستحلب إلى حجمه النهائى حسب التركيز المطلوب. ويخزن المستحلب فى درجة حرارة منخفضة.

يُقلَّب المستحلب جيدًا عند الاستعمال، ويوجه نحو العنقود الزهرى باستعمال رشاشة يدوية صغيرة، مع توقيت موعد المعاملة عند تفتح الأزهار الأولى فى العنقود. وتؤدى المعاملة إلى عقد الأزهار المتفتحة، والبراعم المكتملة النمو، أما البراعم الصغيرة فإنها تسقط عادة.

٣- المعاملة بأبخرة منظمات النمو

يعتبر استعمال منظمات النمو فى صورة أبخرة طريقة سهلة وسريعة فى الزراعات المحمية، لكنها لا تزيد العقد بنفس القدر الذى يحدثه استعمال منظمات النمو فى

صورة محاليل مائية، أو مستحلبات. كما أن الثمار التى تعقد بهذه الطريقة تكون غالبًا صغيرة الحجم، وبها جيوب داخلية puffy، وباهتة اللون.

تُسخَّن منظمات النمو عند الاستعمال، التى تكون غالبًا فى صورة إسترات الأحماض، أو مذابة فى كحول الإيثيل، ثم توزع الأبخرة فى جو البيت (الصوبة) بواسطة مراوح، على أن يكون البيت مغلقًا أثناء الليل. ومن الضرورى أن تتم تهوية البيت جيدًا بعد انتهاء فترة المعاملة، وذلك لأن منظمات النمو المستعملة قد تؤثر على نمو النباتات إذا ظلت ملامسة لها لمدة يوم أو أكثر. وتتوقف الكمية المستعملة من منظم النمو على حجم البيت. وقد أمكن الحصول على عقد جيد باستعمال ٣٧ — ٣٧٠ جم من إستر الميثيل ثنائى كلورو فينوكسى حامض الخليك methyl ester of dichlorophenoxyacetic acid لكل ١٠٠٠ م^{٣} من حجم البيت.

٤- المعاملة بأيروسولات منظمات النمو

تجب إذابة منظمات النمو أولاً، لاستعمالها فى صورة أيروسولات Acrosols، فى مادة حاملة شديدة التبخر، مثل الغازات المُسالة، أو إذابتها فى مادة مذيبة، ثم تخلط مع الغاز السائل، ويعبأ المخلوط فى قنينة خاصة. يُسمح للمخلوط بالخروج من القنينة عند الاستعمال فيتبخر الغاز السائل فى هذه الحالة تاركًا منظم النمو معلقًا فى الهواء فى حالة تفتت شديد. وقد نجح اتباع هذه الطريقة فى تحسين العقد فى الزراعات المحمية، واستخدمت فيها الأوكسينات التالية: إندول حامض الخليك، وإندول حامض البيوتيرك، ونفثالين حامض الأسيتيك (عن Wittwer ١٩٥٤).

٥- المعاملة بمعجون منظم النمو فى اللانولين

تقتصر المعاملة بمعجون منظم النمو فى اللانولين على الأغراض البحثية، ونتائجها مضمونة. ولتحضير معجون من أحد منظمات النمو بتركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون، تتبع الخطوات التالية:

١- يذاب ١٠٠ ملليجرام من منظم النمو فى ٥ مل من كحول الإيثيل ٩٥٪.

٢- يضاف ماء إلى محلول الهرمون إلى أن يصل حجمه النهائى إلى ٢٠ مل.

٣- يدفأ ٨٠ جم من معجون اللانولين lanolin paste إلى أن يصبح سائلاً متدفقًا.

٤- يضاف محلول الهرمون فى الماء والكحول إلى اللانولين، ويقلبا جيدًا، فيحمل بذلك منظم النمو فى اللانولين، ويكون المعجون الناتج بتركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون.

وقد استخدمت هذه الطريقة فى معاملة أزهار الطماطم بمنظم النمو بارا – كلوروفينوكسى حامض الخليك (4-CPA) بتركيز ١٠٠٠-١٥٠٠ جزء فى المليون. وتقتصر المعاملة على مجرد لس مبيض، أو قلم، أو ميسم الزهرة من أحد جوانبها بالمعجون، ويؤدى ذلك إلى إنتاج ثمار بكرية. كذلك تم استخدام إندول حامض البيوتيرك indolebutyric acid بتركيز ٢٠٠٠- ٣٠٠٠ جزء فى المليون.

٦- المعاملة بطرق أخرى

قد تعامل النباتات بمنظمات النمو بطرق أخرى، مثل: التعفير، أو مع ماء الرى، أو بالحقن فى مبايض الأزهار، أو بوضع بلورات الهرمون على مياسم الأزهار. ويقتصر إتباع جميع هذه الطرق على الأغراض البحثية.

تأثير المعاملة بمنظمات النمو على صفات الثمار

لا تُحدث المعاملة بمنظمات النمو أية تأثيرات على لون أو طعم الثمار، أو محتواها من الحموضة الكلية، أو المعادن أو الفيتامينات.

ومن ناحية أخرى.. نجد أن استعمال منظمات النمو لتحسين العقد يؤدى – عادة – إلى إحداث التغيرات التالية فى صفات الثمار:

١- زيادة نسبة الثمار التى تعقد بكريًا، ويتوقف مدى خلو الثمار من البذور على العوامل التالية:

أ- عدد مرات معاملة العنقود الزهرى الواحد بمنظم النمو.

ب- عمر الزهرة عند المعاملة، فكلما كانت المعاملة مبكرة، ازدادت حالة العقد البكرى.

ج- مدى ملاءمة الظروف الجوية للعقد الطبيعى.

د- مدى كفاءة عملية هز العناقيد الزهرية عند المعاملة.

وتكون الثمار العاقدة طبيعية — أى غير بكرية — إذا عوملت الأزهار بعد اكتمال تفتح البراعم الزهرية وتناسبت الظروف الجوية مع ظروف العقد الطبيعى.

٢- زيادة نسبة الثمار التى تظهر فيها تجاويف داخلية puffy fruits، وخاصة عند زيادة تركيز منظمات النمو المستعملة.

٣- زيادة حجم الثمار إذا أجريت المعاملة بعد اكتمال نمو البراعم الزهرية، أو بعد تفتح الأزهار، ونقص حجم الثمار إذا أجريت المعاملة فى المراحل المبكرة لتكوين البراعم (Hemphill ١٩٤٩). ويعتبر الأوكسين بارا- كلوروفينوكسى حامض الخليك (4-CPA) من أكثر الهرمونات تأثيرًا فى هذا الشأن.

٤- زيادة نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية والسكريات فى الثمار التى تعقد بكريا — بفعل منظمات النمو — مقارنة بالثمار البذرية (Casas Diaz وآخرون ١٩٨٧).

٥- نقص صلابة الثمار.

٦- زيادة نسبة الثمار غير المنتظمة النمو rough، ويرجع ذلك إلى زيادة نسبة الأزهار ذات الأجزاء الزهرية المتضاعفة والملتحمة fasciated فى العنقود الزهرى الأول، والتى توجد بصورة طبيعية ولا تعقد — فلا تظهر — فى الجو البارد، بينما تعقد — وتظهر — عند المعاملة بمنظمات النمو (عن Wittwer ١٩٥٤). كما تشاهد هذه الظاهرة فى الأصناف القادرة على العقد فى الجو البارد، حيث تكون الثمار المتكونة شديدة التفصيص، وغير منتظمة الشكل. وتزداد هذه الظاهرة — كذلك — عند زيادة تركيز منظمات النمو المستعملة.

ومن أشكال الثمار غير المنتظمة النمو التى قد تظهر عند المعاملة بمنظمات النمو: حالات الثمار المفلطحة oblate، والمصابة بالعيب الفسيولوجى "وجه القط"، والشبيهة بالفراولة، والمتضاعفة الملتحمة fasciated، والتى تبرز بعض مساكنها.

توصيات استعمال منظمات النمو لأجل تحسين العقد

لخص Ho & Hewitt (١٩٨٦)، و Geisenberg & Stewart (١٩٨٦) معاملات منظمات النمو المستخدمة تجاريًا على الطماطم، والتى تؤدى إلى عقد ثمار بكرية فى الظروف الطبيعية غير المناسبة للعقد كما يلى:

أولاً: باراكلوروفينوكسى حامض الخليك (4-CPA) بتركيز ١٥- ٥٠ جزءًا فى المليون. يستخدم التركيز المنخفض فى الزراعات المحمية، فترش العناقيد الزهرية بمحلول منظم النمو على صورة رذاذ دقيق عند تفتح الأزهار. وتكفى رشة واحدة لكل عنقود زهرى فى الزراعات المحمية، بينما يمكن فى الحقل أن ترش النباتات خمس مرات كحد أقصى كل ١٠- ١٥ يومًا.

ثانيًا: ٢-(٣-كلوروفينوكسى) حامض البروبيونك 2-(3-chlorophenoxy) propionic acid بتركيز ٢٥ — ٤٠ جزءًا فى المليون ويستخدم فى الزراعات المحمية فقط.

ثالثًا: إن — إم تولى فثالامك أسيد N-m-tolyphthalamic acid بتركيز ٠,١٪ — ٠,٥٪ من التحضير التجارى توماست Tomaset الذى يحتوى على الهرمون بنسبة ٢٠٪، وهو يستخدم فى الزراعات الحقلية للأصناف محدودة النمو، حيث يرش النبات كله عندما تتكون به من ٣-٤ عناقيد زهرية بكل منها ٢-٣ أزهار متفتحة. وتفيد هذه المعاملة فى تحسين العقد فى الزراعات المبكرة، والتى تزهر فى الجو البارد قبل بداية الربيع، ثم يكرر الرش بعد أن يكوِّن النبات ١٠ عناقيد زهرية، كما يلى:

مرحلة النمو	الرطوبة النسبية	التركيز الموصى به	كمية محلول الرش (لتر/هكتار)
٣- ٤ عناقيد بها ٢-٣ أزهار متفتحة	عالية	٠,١٪	١٠٠- ٢٠٠
	منخفضة	٠,٢٪	١٠٠- ٢٠٠
١٠ عناقيد فأكثر	عالية	٠,٢- ٠,٣٪	٣٠٠- ٥٠٠
	منخفضة	٠,٥٪	٣٠٠- ٥٠٠

يلاحظ أن التركيز الموصى به ينخفض مع ارتفاع الرطوبة النسبية، وأنه لا يوصى بمعاملة الأصناف محدودة النمو — تحت الظروف الحقلية — قبل تكوينها لنحو ٣- ٤ عناقيد زهرية حتى لا يتأثر محصولها بفعل التأثير المثبط لمنظم النمو على نموها الخضرى. هذا.. علمًا بأن الاستجابة لمنظم النمو تحدث فى كل من البراعم الزهرية التى يبلغ طولها ٨- ١٠ مم والأزهار المتفتحة ما بقيت بتلاتها بلون أصفر زاهٍ. وعند اتباع النظام السابق بيانه فإن الفترة بين المعاملتين تتراوح بين ١٠ و ٢٠ يومًا، ويمكن تكرار المعاملة على فترات مماثلة ما فتئت الحرارة منخفضة عن ١٣°م ليلاً.

رابعًا: ٢-نافثيلوكسى حامض الخليك 2-Naphthyloxyacetic acid بتركيز ٤٠- ٦٠ جزءًا فى المليون، وهو يستخدم فى الزراعات الحقلية، حيث يرش به النبات كله بمعدل ١٣٥- ٢٢٥ لترًا / فدان من محلول الرش.

استعمالات أخرى لبعض منظمات النمو

الألار

استعمل الألار على نطاق تجارى فى ولاية فلوريدا الأمريكية لزيادة حجم الثمار، ونسبة ثمار الدرجة الأولى، حيث كانت ترش به النباتات بتركيز ٥٠٠ جزء فى المليون من التحضير التجارى "ألار ٨٥" بمعدل ٤٠٠ لتر للفدان. وكان يجرى الرش عندما تكون بالنباتات من ١٥- ٣٠ ثمرة عاقدة، ويكون أصغرها فى حجم بذرة البسلة، على ألا يظهر أى تلوين فى أى منها. ولا يجرى الحصاد قبل ٧ أيام من المعاملة (نشرة شركة Uniroyal Chemical).

وقد وجد Read & Fieldhouse (١٩٧٠) أن المعاملة بالألار أدت إلى زيادة المحصول، وكانت أفضل معاملة تلك التى رشت فيها النباتات، وهى فى مرحلة نمو الورقة الحقيقية الأولى، أو الرابعة بتركيز ٢٥٠٠ جزء فى المليون. وقد ازداد المحصول المبكر، وأصبح أكثر تركيزًا عندما عوملت النباتات مرة أخرى بنفس المحصول بعد عقد العدد الكافى من الثمار. وكانت لهذه المعاملة أهميتها فى عملية الحصاد الآلى، وذلك

نظرًا لأنها أدت إلى إبطاء النمو الخضرى ووقف الإزهار، وأمكن بواسطتها الاستغناء عن عملية فرز الثمار الخضراء أثناء الحصاد فى أصناف التصنيع. كما اعتقد الباحثان أن المعاملة ساعدت على زيادة تحمل النباتات لنقص الرطوبة الأرضية وارتفاع الحرارة. كذلك توصل Bryan (١٩٧٠) إلى أن معاملة نباتات الطماطم بالألار — بتركيز ٢٥٠٠ جزء فى المليون — فى طور الورقة الحقيقية الثانية، أو الرابعة أدت إلى أضعاف السيادة القمية، وزيادة قطر الساق، وتفريع النبات، وتأخير الإزهار وزيادة حجم الثمار. وعلى الرغم من أن المعاملة أدت أيضًا إلى إنقاص المحصول الكلى عند إجراء الحصاد يدويًا على دفعات، إلا أنها تسببت كذلك فى زيادة المحصول فى حالة إجراء الحصاد آليًا.

هذا.. إلا أن استعمال الألار توقف كليًا منذ أواخر الثمانينات بسبب اكتشاف تأثيره المسرطن.

الإثيفون

يستعمل الإثيفون فى الإنتاج التجارى للطماطم، بهدف إسراع نضج الثمار وزيادة تركيز النضج؛ لأجل زيادة كفاءة عملية الحصاد.

وفضلاً عن ذلك.. فإن تواجد الإثيلين — كأحد ملوثات الهواء — فى بيئة النبات (كما قد يحدث فى الزراعات المحمية التى تستعمل فيها مدفئات تعمل بالمحروقات، حينما لا يكون احتراقها كاملاً) بتركيز ٠,٠٥ ميكرولترًا/لتر يؤدى إلى اتجاه انصال أوراق النباتات إلى أسفل (leaf epinasty)، وإلى تقزم النباتات ذاتها (Blankenship & Kemble ١٩٩٦).

حامض الأبسيسك

وجد Takahashi وآخرون (١٩٩٣) ان إضافة حامض الأبسيسك بتركيز ٥ أو ١٠ أجزاء فى المليون إلى المحلول المغذى فى المزارع المائية للطماطم ثبط نمو النباتات، ولكن النمو تحسّن قليلاً عندما كان حامض الأبسيسك بتركيز ٠,١ جزءًا فى المليون؛ بسبب تحفيز هذا التركيز للنمو الجذرى. كما أدى هذا التركيز المنخفض إلى تحفيز نشاط

الأكسدة (alpha-naphthylamine oxidizing activity) فى الجذور، وتكوين ونمو الجذور العرضية. وبالمقارنة.. أدى تركيز ٥ أجزاء فى المليون من حامض الأبسيسك إلى زيادة تقسية بادرات الطماطم، وكان ذلك مصاحبًا بنقص فى فقد الماء من الأوراق المفصولة، وزيادة فى نشاط عمليات الأكسدة فى الجذور.

الداى كيجولاك

يستعمل المركب التجارى داى كيجولاك Dikegulac فى زيادة التفريع الجانبى فى نباتات الزهور؛ حيث ينتقل المركب – بعد معاملة النباتات به – إلى القمة النامية للنبات، ويمنع تمثيل الدنا DNA؛ الأمر الذى يؤدى إلى وقف السيادة القمية. وقد وجد أن معاملة نباتات الطماطم بهذا المركب بتركيز ٥٠٠ أو ٢٥٠٠ جزءًا فى المليون بعد الشتل بثلاثة أسابيع أدى إلى زيادة تفريع النبات، وزيادة عدد العناقيد الزهرية التى يحملها. إلا أن المعاملة أدت كذلك إلى تأخير الإزهار ونضج الثمار، ونقص حجم الثمار والمحصول (Frost & Kretchman ١٩٨٧).

الترايأكونتانول

أدت معاملة الطماطم بالترايأكونتانول Triacontanol (وهو منظم نمو شديد الفاعلية فى تركيزاته المنخفضة للغاية .. يراجع لذلك حسن ٢٠١٥) بتركيز ٥ ميكروجرامات/ لتر بعد ١٥ يومًا من الشتل إلى زيادة المحصول الكلى بنسبة ٢٤٪ (Kapitsimadi ١٩٩٥).

الـ DCPTA

وجد Keithly وآخرون (١٩٩١) أن مجرد معاملة بذور الطماطم قبل زراعتها بمنظم النمو 2-(3,4-dichlorophenoxy)triethylamine (اختصارًا: DCPTA) أدى إلى زيادة قوة نمو البادرات، ومعدل النمو النسبى للنباتات، ومحصولها الكلى، وصفات الجودة فى ثمار أصناف التصنيع. ولدى مقارنة النباتات الناتجة من معاملة البذور – بتركيز ٣٠ ميكرومولا من المركب – بنباتات الكنترول، كان معدل نمو جذورها ونموها الخضرى أعلى جوهريًا أثناء الإنبات وخلال المرحلة الوسطى من النمو النباتى. وعند الحصاد.. تميزت النباتات الناتجة من المعاملة بزيادة الوزن الجاف لأوراقها،

وسيقانها، وجذورها بمقدار ٢-٣ أمثال نباتات الكنترول، كما كانت ثمارها أكثر تجانسًا فى النضج؛ الأمر الذى أدى إلى زيادة المحصول. كذلك تميزت الثمار الناضجة للنباتات الناتجة من معاملة البذور بزيادة محتواها من كل من: المواد الصلبة الذائبة الكلية، والجلوكوز، والفراكتوز، والمواد الكاروتينية، مقارنة بثمار الكنترول.

الفلفل

التبكير والمحصول وجودة الثمار

من بين معاملات منظمات النمو التى درس تأثيرها على الفلفل، ما يلى:

١-أدت معاملة صنف الفلفل تباسكو بالتراياكونتانول Triacontanol عن طريق التربة إلى إحداث زيادة جوهرية فى كل من المحصول المبكر والمحصول الكلى تحت ظروف الحقل (Mamat وآخرون ١٩٨٣).

٢-أدت معاملة بادرات الفلفل بالباكلوبترازول Paclobutrazol بتركيز ٢٥ جزءًا فى المليون عن طريق التربة إلى إحداث زيادة جوهرية فى المحصول المبكر، وزيادة وزن الثمرة، ووزن جدرها، مع نقص فى ارتفاع النباتات (Mojecka-Berova & Kerin ١٩٩٥).

إسراع نضج الثمار

يمكن معاملة الأصناف الحريفة - التى تستعمل ثمارها الحمراء - بالإثيفون لإسراع تلونها، خاصة فى المزارع التى تحصد آليًا، حيث يكون من الضرورى تركيز نضج الثمار خلال فترة قصيرة نسبيًا ليمكن حصادها مرة واحدة. وقد وجد Lockwood & Vines (١٩٧٢) أن معاملة نباتات الفلفل البيمينتو بالإثيفون أدت إلى سرعة تلونها، مع زيادة نسبة الثمار الحمراء. كما حصل Cantliffe & Goodwin (١٩٧٥) على زيادة جوهرية فى محصول الثمار الحمراء برش نباتات الصنف ستادونز سيليكت Staddons Select مرة واحدة، بتركيز ٧٥٠ جزء فى المليون، وقد أفادت المعاملتان فى زيادة نسبة الثمار الحمراء عند إجراء الحصاد آليًا.

وقد أدى رش نباتات الفلفل الحلو تحت ظروف الصوبة بالإثيفون بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون عندما كانت الثمار فى بداية مرحلة التحول اللونى إلى اكتمال تلون الثمار باللون الأحمر فى خلال ١٠ أيام، وأدت التركيزات الأعلى (٢٥٠، و٥٠٠ جزء

فى المليون) إلى سقوط الأوراق والثمار فى خلال خمسة أيام من المعاملة. أما تحت ظروف الحقل فقد أدى رش نباتات الفلفل البيمينتو Pimiento عند مرحلة التحول اللونى بتركيز صفر، أو ١٠٠، أو ٢٥٠، و ٥٠٠ جزء فى المليون إلى زيادة نسبة الثمار الحمراء المكتملة التلوين عندما أجرى الحصاد بعد ١٧ يومًا من المعاملة – إلى ١٥,٣، و١٨,٣، و٢٤,٣، و٦١,١٪ على التوالى (عن Weaver ١٩٧٢).

ويستعمل الإثيفون – عادة – بمعدل ٠,٨ – ١,١ كجم فى ٤٥٠-١١٠٠ لتر ماء للهكتار (٣٥٠-٤٥٠ جم فى ٢٠٠-٤٥٠ لتر ماء للفدان) عندما تكون حوالى ١٠٪ من الثمار فى أى درجة من درجات التلوين بالنسبة للفلفل الحلو، ونحو ١٠٪-٣٠٪ من الثمار فى أى درجة من التلوين بالنسبة للفلفل الحريف، وذلك بهدف إسراع نضج الثمار وزيادة تجانسه (عن Read ١٩٨٢).

هذا.. إلا أنه لا يشيع كثيرًا استعمال الإثيفون فى إسراع نضج وتلوين ثمار الفلفل، بسبب التأثيرات السلبية لهذه المعاملة، والتى من أبرزها تحفيز سقوط الثمار والأوراق؛ الأمر الذى يزداد بزيادة التركيز المستعمل من الإثيفون، وخاصة بالنسبة للثمار التى لم تكمل نموها بعد. هذا إلا أن خلط أيدروكسيد الكالسيوم بتركيز ٠,١ مولار مع الإثيفون ساعد على بقاء ثمار صنف الفلفل تاباسكو Tabasco على النباتات لحين حصادها آليًا. ومن المعلوم أن الكالسيوم يساعد على سلامة الجدر والأغشية الخلوية ويمنعها من التدهور فى منطقة الإنفصال. أما بالنسبة للفلفل البابريكا، فإن زيادة تركيز الإثيفون المستعمل فى رش النباتات حتى ٦٠٠٠ ميكروليتر/لتر أحدثت زيادة خطية فى سقوط الثمار سواء أكان الرش به منفردًا، أم كان مخلوطًا مع ٠,١ مولار من أيدروكسيد الكالسيوم. وقد ازدادت كمية المحصول الصالح للتسويق بزيادة تركيز الإثيفون المستعمل إلى ٦٠٠٠ ميكروليتر/لتر، وكان السبب الرئيسى لتلك الزيادة هو النقص فى وزن الثمار الخضراء التى حُصدت آليًا. هذا إلا أن معاملة الإثيفون لم تُحدث أبدًا أية زيادة معنوية فى الوزن الجاف للمحصول الصالح للتسويق مقارنة بالكنترول. كذلك لم تؤثر معاملة الإثيفون على كثافة الصبغة الحمراء المستخلصة من المحصول المجفف (Conrad & Sundstrom ١٩٨٧).

البطاطس

كسر سكون درنات التقاوى

يستعمل حامض الجيرلليك فى كسر سكون الدرنات المستعملة كتقاوٍ وتحفيز نمو براعمها؛ وذلك بغمر الدرنات فى محلول من منظم النمو بتركيز جزء واحد فى المليون قبل زراعتها. وتسمح هذه المعاملة بزراعة التقاوى مباشرة،وتفيد — بصورة خاصة — مع الأصناف التى تمر بفترة سكونٍ طويلةٍ قبل أن تصبح قادرةً على الإنبات؛ مثل الأصناف ذات الدرنات الحمراء.

زيادة دكنة اللون الأحمر للدرنات الحمراء

يفيد التعفير بالـ ٢، ٤-د 2,4-D كمسحوقٍ بتركيز ١٪ بمعدل ٨٠ جرامًا للهكتار (٣٣ جم/فدان) قبل مرحلة تكوين البراعم الزهرية، ثم مرة أخرى بعد ١٠-١٥ يومًا.. تفيد هذه المعاملة فى زيادة دكنة اللون الأحمر فى الأصناف ذات الجلد الأحمر، ولكن هذه المعاملة ليست شائعةً، ولا يوصى بها (عن Read ١٩٨٢).

إنتاج درنات صغيرة الحجم

أفادت معاملة النموات الخضرية للبطاطس بالإثيفون بمعدل ٣٠٠ جم من المادة الفعالة للهكتار (١٢٥ جم/فدان) فى زيادة عدد الدرنات المتكونة مع نقصٍ فى حجمها، مقارنة بمعاملة الشاهد. وقد صاحب هذه المعاملة نقص فى الكثافة النوعية للدرنات، وزيادة فى نسبة الدرنات المشوهة، مع نقصٍ فى الإصابة بالقلب الأجوف، لكن لم يتأثر لون البطاطس عند تحميرها (Rex ١٩٩٢). وربما تفيد هذه المعاملة فى حقول إنتاج التقاوى.

كذلك وجد Bandara & Tanino (١٩٩٥) أن رش نباتات البطاطس بالبكلوبترازول Paclobutrazol بتركيز ٤٥٠ جزءًا فى المليون — خلال المرحلة الأولى لتكوين الدرنات — أدى إلى مضاعفة عدد الدرنات المتكونة/نبات — تقريبًا — دون التأثير على المحصول الكلى.

كذلك أدت المعاملة إلى زيادة فترة سكون الدرنات بنحو ثلاثة أسابيع؛ وبذا.. فإن هذه المعاملة تفيد فى إنتاج درنات صغيرة الحجم.

التخلص من الثمار

لاشك أن أزهار وثمار البطاطس تستهلك جزءًا من طاقة النبات يمكن توجيهها إلى الدرنات. كما أن سقوط الثمار بما فيها من بذور على الأرض يحفز استمرار تواجد وتكاثر مسببات الأمراض والآفات المرضية التى تصيب البطاطس.

وقد تمكن Veerman & Loon (١٩٩٣) من منع عقد ثمار البطاطس كليةً فى صنف البطاطس فان جوخ برش النباتات فى المراحل المبكرة لتكوين البراعم الزهرية بمركب MCPA بمعدل ٥٠٠- ٧٥٠ جرامًا من المادة الفعالة للهكتار (٢١٠ إلى ٣١٥ جم/فدان)، أو بالإثيفون بمعدل ١٤٤-١٩٢ جرامًا من المادة الفعالة للهكتار (٦٠-٨٠ جم/فدان). وبينما لم تكن لمعاملة MCPA أية تأثيرات على كمية المحصول أو نوعية الدرنات، فإن معاملة الإثيفون أنقصت نسبة الدرنات التى يزيد قطرها على ٥ سم.

التخلص من النموات الخضرية

يفيد التخلص من النموات الخضرية فى تسهيل عملية الحصاد، ويعتبر هارفيد Harvade من أكثر منظمات النمو استخدامًا لهذا الغرض. وهو يستعمل بمعدل ٠,٣- ١,١ كيلوجرامًا للهكتار (حوالى ٠,١٢٥- ٠,٤٦٠ كجم/فدان) قبل الموعد المتوقع للحصاد بنحو ١٤-٢٠ يومًا (عن Read ١٩٨٢).

تثبيط نمو البراعم فى المخازن

يكون الغرض من معاملة النباتات فى الحقل قبل الحصاد بمثبطات التبرعم Sprout inhibitors هو وقف تبرعم درنات المحصول المزمع تخزينه لفترة قبل استهلاكه؛ وذلك حتى لا تصل إلى المستهلك وهى نابتة. وتجرى هذه المعاملة فى الحقل بأحد المركبين التاليين:

١- الماليك هيدرازيد Maleic hydrazide:

الماليك هيدرازيد هو ملح البوتاسيوم لـ 1,2,dihdro-3,6-pyridazinedione، ويستخدم هذا المركب بتركيز ١٠٠٠- ٦٠٠٠ جزء فى المليون عندما تبدأ الأوراق السفلى للنبات فى الاصفرار، ويكون ذلك عادةً قبل الحصاد بنحو ٤-٦ أسابيع. وتكفى هذه المعاملة لمنع تزريع الدرنات المنتجة لمدة ستة أشهر عند تخزينها فى حرارة تتراوح من ٤-٢٠ °م، دون أن يكون للمعاملة أية تأثيرات جانبيةٍ على المحصول، أو الكثافة النوعية للدرنات. ومن الضرورى الالتزام بالتوقيت الصحيح للمعاملة، لأن إجراءها باكرًا عند وضع الدرنات يؤدى إلى نقص المحصول، وزيادة نسبة الدرنات المشوهة، بينما لا تكون المعاملة مجدية إذا أجريت بعد تمام تكوين الدرنات؛ لأن المادة يجب أن تمتص عن طريق الأوراق الخضراء، وتسرى مع الغذاء المجهز إلى الدرنات؛ التى يكون قطرها عند المعاملة ٢,٥ سم، حتى تُحدث تأثيرها.

٢- ميثيل إسترنفثالين حامض الخليك methyl ester of naphthalene-acetic acid: هذا المركب قليل الاستعمال فى الحقل، وقد كان مستعملاً بكثرة فى معاملة الدرنات أثناء التخزين.

تطبيقات مختلف مجموعات منظمات النمو

١- الكينينات

وجد أن الكينينات Kinins (مثل الكينتين Kinetin، والزياتين Zeatin، والبنزيل أدنين Benzyladenine) تؤدى إلى كسر سكون درنات البطاطس، وقد كان نقع الدرنات فى البنزيل أدنين Benzyladenine بتركيز ٢٠ جزءًا — ١٠٠ جزء فى المليون أكثر فاعلية فى كسر سكون الدرنات عن المعاملة بأى من الكينتين أو حامض الجبرلليك. كذلك تؤدى المعاملة بالكينينات إلى إضعاف السيادة القمية.

وقد أدت معاملة نباتات البطاطس فى الحقل بالبنزيل أدنين إلى زيادة أعداد السيقان وأطوالها. كما أدى الرش بمعدل ٢,٨ جم من الكينتين المستخلص من الأعشاب البحرية/هكتار

إلى إحداث زيادة جوهرية فى محصول الدرنات مع زيادة تجانسها فى الحجم. هذا.. إلا أن فاعلية المعاملة بالكينينات – فى هذا الشأن – تختلف باختلاف الأصناف.

ومن المركبات الجديدة ذات التأثيرات المشابهة لتأثير السيتوكينيات – وإن كان يمثل عائلةً أخرى من الهرمونات النباتية – مركب 1-(m)-methoxybenzyl-3-nitroguandine، الذى يأخذ الرمز الكودى AC 243,654. وقد أدت معاملة نباتات البطاطس بهذا المركب بعد أسبوعين من الإنبات بمعدل كيلوجرام واحد أو أربعة كيلو جرامات للهكتار (٠,٤٢ – ١,٦٧ كجم/فدان) إلى التبكير فى وضع الدرنات بنحو أسبوع، وتأخير شيخوخة النبات، وزيادة المحصول الكلى، ومحصول الدرنات الكبيرة الحجم، مع نقص عدد الدرنات/نبات ومحصول الدرنات الصغيرة الحجم (Pavlista ١٩٩٣).

٢- حامض الجبرلليك

بينما تؤدى معاملة الدرنات الساكنة بحامض الجبرلليك إلى سرعة إنباتها عن الدرنات الساكنة غير المعاملة، فإنها تؤدى -- كذلك – إلى زيادة عدد الدرنات ونقص حجمها؛ الأمر الذى لا يناسب الإنتاج التجارى للبطاطس؛ الذى يفضل فيه أن تكون الدرنات كبيرة الحجم، ولكن هذا التأثير قد يكون مرغوبًا فيه فى حقول إنتاج التقاوى، وكبديلٍ لزيادة كثافة الزراعة عند ارتفاع ثمن التقاوى.

كذلك أدى رش نباتات البطاطس بالجبريللين بتركيز ١٠ أجزاء فى المليون قبل الحصاد بنحو أسبوعين إلى تحفيز تبرعم الدرنات بعد حصادها. وأدى استعمال تركيزات من منظم النمو أعلى من ١٠ أجزاء فى المليون إلى إنتاج درنات ثانوية على الدرنات الأولية.

وقد أفادت معاملة درنات محصول العروة الصيفية بالجبريللين – بتركيز جزء واحد فى – المليون – فى كسر سكون الدرنات لأجل استعمالها كتقاوٍ للعروة الخريفية، وكان محصول العروة الخريفية أعلى عندما عوملت تقاويها بكلٍ من الجبريللين والرايندييت معًا.

كذلك استفاد مربو البطاطس من المعاملة بالجبريللين فى زيادة أعداد الأزهار التى يمكن استعمالها فى إجراء التلقيحات.

ولما كانت المعاملة بالجبريللين تحفز نمو البراعم، فقد أمكن الاستفادة منها فى الكشف عن إصابة الدرنات بالفيروسات.

٣- منظم النمو ومبيد الحشائش ٢، ٤-د

إلى جانب تأثير منظم النمو ٢، ٤-د فى زيادة دكنة اللون الأحمر لدرنات البطاطس ذات الجلد الأحمر - والذى أسلفنا بيانه - فإن المعاملة بهذا المركب تؤدى إلى زيادة الكثافة النوعية للدرنات، وزيادة أعدادها، وزيادة نسبة الدرنات المتوسطة الحجم. ولكن لا يوصى بإجراء هذه المعاملة.

٤- الألار Alar (أو B-9)

أدت المعاملة بالألار N-Dimethyl Amino Succinamic Acid فى الحقل إلى تثبيط نمو السيقان، وزيادة محصول الدرنات وعددها، وكذلك زيادة نسبة الدرنات متوسطة الحجم. وتزداد فاعلية المعاملة عندما تجرى مبكرًا خلال موسم النمو؛ وتفيد هذه المعاملة فى حقول إنتاج تقاوى البطاطس، ولكن لا يوصى باتباعها.

٥- الكلورمكوات Chlormequat (أو CCC)

أدت المعاملة بالكلورمكوات 2-Chloroethyl Trimethylammonium Chloride إلى تثبيط استطالة السيقان، وزيادة محصول الدرنات، وخاصة عندما أجريت بعد ٦٤ يومًا من الزراعة بمعدل ١ كجم/هكتار (حوالى ٠,٤٢ كجم/فدان) (Stallkneecht ١٩٨٣)، ولكن لا يوصى بإجراء هذه المعاملة.

٦- الترياكونتانول

أدت معاملة نباتات البطاطس ثلاث مرات بالترياكونتانول بتركيز ٥ ميكروجرام/لتر ابتداءً من بعد زراعتها بمدة ٤٥ يومًا.. أدت إلى زيادة محصول الدرنات بنسبة ٢٩٪ (Kapitsimadi ١٩٩٥).

البصل

منع الإزهار المبكر

تمكن Izquierdo & Corgan (١٩٨٠) من خفض نسبة النباتات التى تتجه نحو الإزهار المبكر فى نيومكسيكو، وذلك بمعاملة نباتات الزراعة الخريفية فى أواخر الشتاء بالإثيفون بتركيز ٥٠٠٠ جزء فى المليون. وأدت هذه المعاملة إلى تقليل نمو الأوراق أيضًا، كما ارتبطت فاعلية المعاملة جوهريًّا بقطر البصلة؛ فكان تثبيط الإزهار المبكر أعلى ما يمكن عندما تراوح قطر البصلة وقت إجراء المعاملة من ٠,٩- ١,٦ سم، بينما لم تؤد المعاملة إلى زيادة نسبة المحصول الصالح للتسويق إلا عندما كانت نسبة الإزهار المبكر مرتفعة أصلاً فى نباتات معاملة المقارنة (الكنترول). أما عندما كانت نسبة الإزهار المبكر منخفضة بطبيعتها فى الكنترول، فقد أدت المعاملة بالإيثيفون إلى نقص المحصول نتيجة لإنقاصها حجم البصلة.

منع التزريع فى المخازن

وُجِد أن رش نباتات البصل قبل الحصاد بنحو ١٠-١٤ يومًا بالماليك هيدرازيد Maleic Hydrazide، بتركيز ٢٥٠٠ جزء فى المليون يؤدى إلى منع تزريع البصل فى المخازن نهائيًّا. ولتوقيت المعاملة أهمية كبيرة، نظرًا لأن التبكير بها عن الموعد المناسب يجعل الأبصال أقل صلابة، والتأخير بها يجعلها عديمة الجدوى. ويكون أفضل وقت للمعاملة عندما تتدلى أوراق نحو ٥٠٪ من النباتات، كما لا تكون المعاملة فعالة إلا إذا وصل منظم النمو إلى الأنسجة الخضراء فى الورقة، حيث ينتقل منها إلى الأنسجة الميرستيمية فى البصلة لتحدث التأثير المطلوب. ولذا.. فإن معاملة الأبصال نفسها بالماليك هيدرازيد لا تفيد لأن المادة تبقى على الحراشيف الميتة الخارجية، ولا تنتقل إلى داخل البصلة. وليس لهذه المعاملة أية تأثيرات غير مرغوبة على البصل، فهى لا تؤثر على اللون أو النكهة، كما أنها لا تؤدى إلى طراوة الأبصال أو تفريغها، ولا تحدث بالأبصال أية نموات غير طبيعية.

ينتقل الماليك هيدرازيد من الأوراق الخضراء النشطة فى عملية البناء الضوئى إلى القمة الخضرية الميرستيمية؛ حيث يمنع انقسامها. وقد تزداد خلايا القمة الميرستيمية فى الأبصال المخزنة إلى ٤- ٥ أضعاف حجمها الطبيعى، ولكنها لا تنقسم، ولا تتميز منها أعضاء جديدة، بل تموت وتتحلل، ويؤدى ذلك فى الأبصال المخزنة إلى تثبيط التزريع والتجذير. ومقارنة بأبصال النباتات غير المعاملة بالماليك هيدرازيد، فإنه لا تحدث فى أبصال النباتات المعاملة الزيادة فى السيتوكينينات ومنشطات النمو الأخرى التى ترتبط بالتزريع، أو النقص فى مثبطات النمو الذى يرتبط بالتزريع كذلك، كما لا تحدث فيها الزيادة السريعة فى معدل التنفس التى تحدث عند اقتراب الأبصال من مرحلة التزريع.

ولكى يُحدث الماليك هيدرازيد تأثيره المثبط للنمو فإن تركيزه فى مركز البصلة يجب ألا يقل عن ٢٠ جزءًا فى المليون. ولذا.. فإن لتوقيت المعاملة بمنظم النمو أهميته الكبيرة؛ حيث يجب أن يتجمع المركب فى القمة النامية للبصلة بعد أن تكمل انقساماتها التى تلزم لتكوين حراشيف البصلة ومبادئ أوراقها، ولكن قبل أن تفقد أنصال الأوراق قدرتها على القيام بعملية البناء الضوئى، حيث ينتقل منظم النمو مع الغذاء المجهز فى الأوراق الخضراء إلى القمة النامية فى البصلة. وتؤدى المعاملة مبكرًا قبل قرب اكتمال تكوين الأبصال إلى جعلها غير طبيعية، وطرية، وإسفنجية المركز.

يتراوح التوقيت المناسب للمعاملة بين مرحلة تدلى أوراق ١٠٪ من النباتات فى المناطق الباردة ومرحلة تدلى أوراق ٥٠٪ من النباتات فى المناطق الحارة. وتجب أن تمر فترة ١٠ ساعات لا تسقط خلالها الأمطار بعد المعاملة لكى يكتمل امتصاص المركب.

وإذا تعدى المحصول المرحلة المناسبة للمعاملة كأن تكون أوراق أكثر من ٥٠٪ من النباتات قد تدلت بالفعل، أو أن تكون بعض الأوراق قد بدأت فى الجفاف، فإنه يمكن زيادة جرعة الماليك هيدرازيد المستعملة فى الرش بنسبة ٥٠٪ (باستعمال ١,٥ كجم من المادة الفعالة أو نحو ٣,٧٥ كجم من المركب التجارى MH-40 للفدان بدلاً من كيلوجرام واحد من المادة الفعالة أو نحو ٢,٥ كجم من المركب التجارى للفدان.

وتجدر الإشارة إلى أن الأنسجة البرعمية الداخلية فى الأبصال التى سبقت معاملتها بالماليك هيدرازيد قبل الحصاد لا تصبح صفراء أو خضراء اللون عند تعرضها للضوء، ولكن تبقى بيضاء وساكنة. ويمكن بهذا الاختبار التعرف — بسهولة– على ما إذا كانت الأبصال قد عوملت بالماليك هيدرازيد من عدمه.

هذا.. ولا تجوز معاملة الحقول المعدة لاستعمال أبصالها كتقاو لإنتاج البذور بالماليك هيدرازيد (Isenberg ١٩٥٦).

وتجدر الإشارة إلى أنه يتوفر أكثر من ٢١ تحضيرًا تجاريًّا من الماليك هيدرازيد تتفاوت فى نسبة المادة الفعالة التى توجد فيها (Read ١٩٨٢).

ويعتبر الماليك هيدرازيد من المركبات القليلة السمية جدًّا للإنسان، حيث يمكن أن يصل إلى جسم الإنسان منه — مع الطعام — نحو ٥ ملليجرامات لكل كيلوجرام من وزن الجسم دون أن تحدث منه أية أضرار.

الثوم

يُستخدم المبيكوات كلورايد mepiquat chloride (الذى يتوفر بنسبة ٥٪ فى المنتج التجارى بكس Pix) فى تحسين جودة ومحصول الثوم؛ حيث يؤدى رش النباتات وهى بعمر ٥–٧ ورقات بنصف لتر/فدان من التحضير التجارى بكس إلى زيادة اخضرار الأوراق وزيادة مقاومتها للأمراض الفطرية والحشرية (مثل التربس وذبابة البصل الكبيرة والصغيرة)، وزيادة التصاق القشرة بالبصلة (من نشرة للمنتج التجارى).

الكنتالوب

قُورنت معاملة الكنتالوب بمثبط تمثيل الإثيلين: aminoethoxyvinylglycine (اختصارًا: AVG) بمعدل ١٢٤ جم مادة فعالة/هكتار (٥٢ جم/فدان) فى جرعة واحدة أو جرعتين بين ٧، و٢١ يومًا قبل الحصاد إما عن طريق الرش الورقى أو الحقن فى التربة فى منطقة نمو الجذور. وقد أدت المعاملة بطريقة الحقن إلى زيادة التبكير فى النضج مقارنة بطريقة الرش. وازداد المحصول الكلى الصالح للتسويق بطريقة الحقن —

ولكن ليس بطريقة الرش — مقارنة بالكنترول. وفى المقابل .. أدت المعاملة بالرش إلى تقليل حجم الثمار وحجم الفجوة الداخلية. وبينما لم تؤثر المعاملة بطريقة الرش على جودة الثمار أثناء التخزين، فإن المعاملة بالحقن أدت إلى زيادة صلابة الثمار. وبصفة عامة فإن تأثير المعاملة بالـ AVG كان أفضل عندما أُجريت بحقن التربة مقارنة بتأثير المعاملة بالرش (Leskovar وآخرون ٢٠٠٦).

أحدثت معاملة نباتات الكنتالوب بالماليك هيدرازيد زيادة كبيرة فى حجم خلايا الثمرة، مقارنة بحجم الخلايا فى الثمار غير المعاملة، وذلك خلال المراحل المبكرة من تكوين الثمار، كما كان عدد الخلايا فى الثمار المعاملة أقل مما كان فى الثمار غير المعاملة فى المراحل المتأخرة لتكوين الثمار. وكان محتوى الثمار من السكروز والجلوكوز والفراكتوز أعلى فى الثمار المعاملة عما فى غير المعاملة. ولذا.. يُعتقد أن تراكم السكروز فى الثمار التى تعرضت لمعاملة الماليك هيدرازيد كان أسرع نتيجة للزيادة المبكرة فى حجم الخلايا، ثم ازداد محتوى السكر أكثر نتيجة للانخفاض فى عدد الخلايا بالثمار خلال المراحل المتأخرة من تكوينها (Kano ٢٠٠٧).

البطيخ

أحدثت معاملة أزهار البطيخ عند تفتحها بالـ (2-chloro-4-pyridyl)-N- phenylurea (اختصارًا: CPPU) زيادة فى معدل نمو الثمار، وفى سمك القشرة البيضاء، وفى العدد الكلى للخلايا بالثمرة، وخاصة الخلايا الأصغر حجمًا (Kano ٢٠٠٠).

كما وجد أن تطعيم البطيخ الثلاثى التضاعف (صنف Reina de Corazones) فى صوبة مدفأة على أصل من الهجين النوعى Shintoza (وهو: *Cucurbita maxima* x *Cucurbita moschata*)، وكذلك عقد ثماره بالمعاملة بالـ CPPU قللا من تراكم السكر والمواد الصلبة الكلية بالثمار ومن التلوين الجيد للب، مقارنة بعدم التطعيم والعقد الطبيعى، كما كان تأثير المعاملتين متجمعًا. وأدت كلتا المعاملتين — كذلك — إلى خفض نسبة السكروز إلى السكر السداسى فى الثمار عما فى ثمار الكنترول (Lopez-Galarza وآخرون ٢٠٠٤).

إن التلقيح يُعد مشكلة فى إنتاج البطيخ اللابذرى عند ضعف الإضاءة وانخفاض درجة الحرارة؛ بسبب ضعف نشاط النحل فى تلك الظروف، وقد يفيد فيها اللجوء إلى استعمال منظمات النمو. وفى دراسة عُوملت فيها الأزهار بالـ CPPU بتركيزات تراوحت بين ٥٠، و٢٠٠ مجم/لتر بمعدل ٠,٦ مل لكل مبيض، بالإضافة إلى رش النموات الخضرية بالـ 2,4-D بتركيزات تراوحت بين ٤، و١٢ مجم/لتر بمعدل ١٠٠٠ لتر/هكتار (٤٢٠ لتر للفدان).. كان عدد الثمار المنتجة بمعاملة الـ CPPU مماثلاً للعدد المتكون عندما كان التلقيح بالنحل، وتراوح أفضل تركيز بين ١٠٠، و ٢٠٠ مجم/لتر، كما وجد ارتباط موجب بين محصول الثمار وتركيز الـ CPPU المستخدم. وعلى الرغم من انخفاض نسبة السكر بالثمار فى حالة المعاملة بالـ CPPU مقارنة بمعاملة الـ 2,4-D فإن كلتا المعاملتين كانت ثمارهما مقبولة من حيث محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية (Huitrón وآخرون ٢٠٠٧).

الفلفل

يُفيد التحكم فى طول شتلات الخضر فى جعلها أكثر مناسبة وتحملاً لعمليتى الشحن والشتل. وبينما يمنع حامض الأبسيسك زيادة استطالة السيقان، فإنه يمكن — كذلك — أن يستحث نموات غير طبيعية غير مرغوب فيها. وقد وجد عند معاملة صنفين من الفلفل بحامض الأبسيسك بمعدل ٠,٧١ مجم/نبات أن المعاملة كانت فعالة وأدت إلى تقصير طول شتلات الصنف الحلو Excursion II إلى نحو ٨٠٪ –٨٨٪ من طول نباتات الكنترول حتى الشتل، وأدت إلى تقصير طول النباتات مع اصفرار أوراقها فى الصنف الجالابينو Colima. وليمكن تجنب أى آثار سلبية للمعاملة فإنها يجب أن تتم بعد بزوغ الورقة الحقيقية الأولى بأسبوع واحد على الأقل. هذا.. وكان التأثير الذى أحدثته المعاملة مرحليًّا، حيث لم يستمر بعد الشتل، وهو أمر مرغوب فيه (Agehara & Leskovar ٢٠١٤).

الفاصوليا

يؤدى رش نباتات الفاصوليا ببعض منظمات النمو إلى تحسين عقد الثمار وزيادة

المحصول عندما تكون درجة الحرارة أعلى من ٣٢°م أثناء الإزهار. ويصاحب ذلك نقص فى عدد البذور فى القرن، وتكون القرون أصغر حجمًا وأفضل نوعية. كما تؤدى المعاملة بمنظمات النمو – عندما تكون الظروف مناسبة للعقد – إلى زيادة المحصول، ولكن الزيادة تكون قليلة، ولا تتعدى ١٠٪–٢٠٪. وترجع الزيادة فى المحصول فى هذه الحالة إلى زيادة نمو القرون فى النباتات المعاملة.

ومن بين منظمات النمو التى استخدمت بنجاح لتحسين عقد الثمار فى الفاصوليا الأوكسينات التالية:

١– نفثالين حامض الخليك alpha-naphthalineacetic acid (اختصارًا NAA) بتركيز ٥– ٢٥ جزء فى المليون.

٢– بيتا نفثوكسى حامض الخليك beta-naphthoxyacetic acid (اختصارًا NOA) بتركيز ٥–٢٥ جزء فى المليون.

٣– باراكلوروفينوكسى حامض الخليك Parachlorophenoxacetic acid (اختصارًا CIPA) بتركيز ١– ٥ أجزاء فى المليون، وهو أكثرها تأثيرًا.

٤– ألفا–أورثو–كلوروفينوكسى حامض البروبيونك alpha-ortho-chlorophenoxypropionic acid (اختصارًا CIPA) بتركيز ١– ٥ أجزاء فى المليون.

تجرى المعاملة برش النبات كله، وتكفى عادة رشة واحدة عندما تكون النباتات فى مرحلة الإزهار التام full bloom. ويمكن عند الضرورة إجراء رشة أخرى بعد نحو ٧– ١٠ أيام أخرى. ويكفى عادة من ١–٢ جم من منظم النمو فى كل رشة للفدان. ولا تُحدث هذه المعاملة أى أضرار للبراعم الزهرية الصغيرة (Wittwer ١٩٥٤، وWeaver ١٩٧٢).

هذا.. ويلاحظ أن القرون الأولى التى تعقد على نبات الفاصوليا تكون قريبة من سطح التربة؛ مما يعرضها للتلف؛ لذا.. فإن أى محاولة لإبعاد تلك القرون عن سطح التربة قد تؤدى إلى زيادة المحصول الصالح للتسويق. وقد كان ذلك ممكنًا برش بادرات الفاصوليا وهى

فى مرحلة اكتمال تكوين الأوراق الفلقية بالجبريللين؛ حيث أدت المعاملة إلى استطالة العقد الأولى على الساق؛ مما أدى إلى رفع مستوى القرون السفلى بنحو ٥ سم، وزيادة المحصول بنسبة تراوحت بين ١٤٪، و١٨٪ (Palvista وآخرون ٢٠١٣).

الفراولة

تقليل إنتاج المدادات

أدى رش الفراولة (صنف شاندلر) بالـ prohexadione-calcium بتركيزات عالية وصلت إلى ٤٨٠ مجم مادة فعالة/لتر إما مرة واحدة بعد الشتل بأسبوع، وإما مرتان بينهما ثلاثة أسابيع إلى خفض تكوين المدادات الخريفية بمقدار ٥٧٪-٩٣٪، مع زيادة فى تكوين التيجان الفرعية الخريفية. ولم يكن للمعاملة أى تأثير على مورفولوجيا النبات خلال الربيع التالى أو أى تأثيرات سلبية على صفات جودة الثمار أو المحصول (Black ٢٠٠٤).

كما وجد أن رش نباتات الفراولة (صنفا Seascape، وSelva المحايدين للفترة الضوئية) فى زراعات فريجو بمثبط النمو prohexadione-Ca بتركيز ٢٤٠ مجم مادة فعالة/لتر مرة واحدة أو مرتان – بينهما أسبوع واحد – بعد الإزهار مباشرة أدى إلى خفض إنتاج المدادات بنسبة ٥٠٪، وإلى زيادة أعداد التيجان (Black ٢٠٠٦).

كسر سكون الأزهار والبراعم

تُعامل نباتات الفراولة بحامض الجبريلليك؛ بهدف كسر سكون الأزهار والبراعم؛ مما يؤدى إلى إطالة موسم إنتاج الثمار وزيادة المحصول، وتكفى لذلك المعاملة بتركيز ٢٠ جزء فى المليون، كما وجد فى إحدى الدراسات (Ozguven & Yilmaz ٢٠٠٢)، أو بتركيز ٥٠ جزء فى المليون، كما وجد فى دراسة أخرى (Paroussi وآخرون ٢٠٠٢)، إلا أن الدراسة الأخيرة لم تأخذُ فى الاعتبار تركيزات لحامض الجبريلليك تقل عن ٥٠ جزءًا فى المليون.

عقد الثمار ونموها

يظهر الأوكسين الحر فى الثمار الحقيقية للفراولة بعد ٤ أيام من تفتح الزهرة، وتظهر كميات بسيطة منه فى التخت الزهرى بعد ٧ أيام أخرى، ويصل إلى أعلى تركيز له فى كل من الثمار الحقيقية والتخت الزهرى قبل مرحلة التلون الأبيض للثمرة، وبعد ذلك ينخفض — تدريجيًا — مستوى الأوكسين الحر فى التخت الزهرى، ثم فى البذور الحقيقية، وذلك مع بدء تلون الثمرة باللون الأحمر (عن Perkins-Veazie ١٩٩٥).

وقد وجد Nitsch أن إزالة أمتعة الأزهار (أو الثمار الفقيرة) فى أى مرحلة — قبل أن تكمل تكوينها — أدى إلى وقف نمو التخت الزهرى، بينما أدت إزالة بعضها فقط إلى إنتاج ثمار مشوهة، حيث لم يستمر نمو التخت الزهرى إلا فى الأجزاء المحيطة بالثمار الفقيرة المتبقية فقط. ويتناسب وزن الجزء اللحمى (الثمرة المأكولة) مع عدد الثمار الفقيرة الموجودة به.

ويمكن أن تحل المعاملة ببعض منظمات النمو محل البويضات المخصبة فى تنشيط نمو التخت الزهرى، مثل المعاملة بأى من نفثوكسى حامض الخليك naphthoxyacetic acid، أو إندول حامض البيوتريك indolebutyric acid فى اللانولين. فعندما سمح للأزهار بالتلقيح والإخصاب الطبيعيين، ثم بعد ٩ أيام أزيلت الثمار الفقيرة التى كانت فى بداية تكوينها، أدت المعاملة بأى من هذين الأوكسينين الصناعيين إلى استمرار نمو التخت الزهرى بصورة طبيعية، ولكن تطلب الأمر استعمال تركيز عالٍ قدره ١٠٠ جزء فى المليون من منظم النمو (عن Avigdori-Avidov ١٩٨٦).

كذلك أدى رش نورات الفراولة فى السلالات الأنثوية بإندول حامض الخليك بتركيزات تراوحت بين ٠,٠٠٥، و ٠,٠١٪ إلى نمو مبايض الأزهار (الثمار الفقيرة achens) بصورة طبيعية، ولكنها كانت خالية من البذور، كذلك أدى الرش بتركيز ٠,٠٠٥٪ أو ٠,٠١٪ من هذا الهرمون إلى نمو التخت الزهرى فى بعض الأزهار بصورة طبيعية وتكوين ثمار ناضجة طبيعية المظهر، إلا إنه لم تتكون أبدًا بهذه الطريقة أكثر من ثمرة واحدة بكل نورة.

كما تمكن Nitsch (١٩٦٢) من الحصول على عقد جيد للثمار فى إحدى سلالات الفراولة الأنثوية بمعاملتها وقت تفتح الأزهار بمنظم النمو 1-napthaleneacetamide بتركيز ٠,٠١ مولار، وقد كانت الثمار المنتجة مكتملة النمو وبكرية.

ووُجِدَ أن معاملة قمة تخت أزهار الفراولة غير الملقحة بنفثالين حامض الخليك NAA بتركيز ١٠$^{-3}$ مولار + ٢٪ دايمثيل سلفوكسيد dimethylsulfoxide فى اللانولين أدت إلى تحفيز استطالة التخت الزهرى، وإنتاج ثمرة مكتملة الحجم (Southwick & Poovaiah ١٩٨٧).

هذا.. ولا تحفز المعاملة بحامض الجبرلليك نمو التخت الزهرى — إذا ما أزيلت الثمار الحقيقية — مثلما تفعل المعاملة بالأوكسين، حيث يقتصر تأثير الجبريللين على تحفيز نمو الجزء القاعدى فقط من التخت الزهرى (منطقة الرقبة neck region)، مما يؤدى إلى تشوه شكل الثمرة.

وعلى الرغم من أن المعاملة بأى من الجبريللين أو السيتوكينين لا تؤثر على نمو التخت الزهرى، فقد أمكن رصد نشاطهما فى ثمار الفراولة بعد ٧ أيام من تفتح الزهرة، وخاصة فى الثمار الحقيقية، وبعد ذلك انخفض تركيز السيتوكينين بشدة فى كل من الثمار الحقيقية والتخت الزهرى، وبقى تركيزه منخفضًا إلى حين نضج الثمرة، بينما كان تركيز الجبريللين منخفضًا فى كل من الثمار الحقيقية والتخت الزهرى، وازداد انخفاضه فيهما أثناء اكتمال الثمرة لنضجها (عن Perkins-Veazie ١٩٩٥).

البطاطا

أدى رش حقول البطاطا صنف بيوريجارد Beauregard بالبروهكساديون كالسيوم Prohexadione-calcium (اختصارًا: Pro-Ca) بتركيز ١٨٠ مجم مادة فعالة/ لتر مرتان: الأولى منهما بعد أسبوعين من الشتل والثانية بعد ٦ أسابيع من الشتل.. أدى ذلك إلى إحداث خفض جوهرى فى طول النموات الخضرية، ووزنها، لكن مع إحداث زيادة جوهرية فى محصول الجذور الخازنة، مقارنة بما حدث فى معاملة الكنترول.

وعلى الرغم من عدم ظهور اختلاف جوهرى فى الكتلة البيولوجية الكلية المنتجة بين النباتات المعاملة بالـ Pro-Ca وغير المعاملة، فإن النباتات المعاملة كانت الأعلى فى محصول الجذور، بينما كانت غير المعاملة هى الأعلى فى محصول النمو الخضرى؛ بما يعنى أن الـ Pro-Ca أثر فى توزيع نواتج البناء الضوئى (Njiti وآخرون ٢٠١٣).

الخرشوف

تؤدى معاملة الخرشوف بالجبريللين قبل الموعد المرتقب للحصاد بنحو ٦–٨ أسابيع إلى التبكير فى إنتاج النورات، ويستخدم لذلك حامض الجبريلليك بتركيز ٢٠– ٥٠ جزءًا فى المليون (Snyder وآخرون ١٩٧١، و Ryder وآخرون ١٩٨٣).

وتختلف الأصناف فى استجابتها لهذه المعاملة؛ فقد وجدDe Angelis (١٩٧٠) أن معاملة نباتات الصنف الطويل النهار فرت دى بروفنس Vert de Provence عدة مرات بتركيز ١٢٠ جزءًا فى المليون.. أدت إلى إزهارها أثناء فصلى الخريف والشتاء، وزيادة عدد الأفرع الجانبية على الساق الرئيسية، وزيادة المحصول، وأدت معاملة الصنف المحايد فيولت دى بروفنس Violet de Provence عدة مرات بتركيز ٤٠ جزءًا فى المليون أو أكثر إلى زيادة إنتاج النورات.

وعمومًا.. يؤدى رش النموات الخضرية للخرشوف بحامض الجبريلليك GA_3 أو GA_{4+7} إلى التبكير فى الحصاد بعدة أسابيع وزيادة تجانس الإزهار. وتُجرى المعاملة – عادة – بالرش ٢–٣ مرات بين الرشة والتالية لها أسبوعين، بمعدل ٢٠ جزء فى المليون وبمقدار ١١٠ لتر من محلول الرش، وبما لا يزيد عن ٦,٦ جم من حامض الجبريلليك للفدان فى كل مرة، ويبدأ الرش بعد الشتل بنحو ٥–٧ أسابيع حينما يكون النمو النباتى بقطر ٤٥– ٦٠ سم.

ولأجل تأمين محصول جيد من الخرشوف لأطول فترة ممكنة يوصى بتقسيم الحقل المزروع إلى أربع مساحات يبدأ الرش فى إحداها بعد ٥ أسابيع من الشتل، وفى الثانية بعد

٦ أسابيع أخرى، وفى الثالثة بعد ٧ أسابيع إضافية، بينما تترك الرابعة بدون معاملة.

ويذكر أن معاملة الرش الموصى بها فى كاليفورنيا هى بمعدل ٢٥ ميكروجرام/مل (٢٥ ملليجرام/ لتر) فى ٤٠٠- ٥٠٠ لتر/هكتار (أى بنحو ١٧٠- ٢١٠ لترًا للفدان من محلول رش بتركيز ٢٥ جزءًا فى المليون). تعطى هذه المعاملة فى الخريف وحتى أول نوفمبر (عن Read ١٩٨٢).

وفى كاليفورنيا أدى الرش بالجبريللين مرة واحدة بتركيز ٢٥ أو ٥٠ جزءًا فى المليون فى سبتمبر إلى زيادة أعداد النورات وأحجامها خلال فترة بداية الحصاد من يناير إلى مارس، ولكن المحصول الكلى لم يتأثر بهذه المعاملة.

وإذا ما عوملت النباتات الصغيرة أثناء خروج البراعم الخضرية من سكونها فإن ذلك قد يؤدى إلى تبكير الحصاد بمقدار عدة أسابيع، مع زيادة عدد نورات النبات الواحد جوهريًّا. ويتحقق ذلك خاصة إذا ما تكرر الرش بالجبريللين بعد كل دورة من دورات الإنتاج. كما أمكن زيادة المحصول بمقدار ٣٠٪-٤٠٪ دون التأثير على التبكير بتأخير الرشة الأولى حتى تصبح البراعم الأولى مرئية (عن Wittwer ١٩٨٣).

وفى دراسة أجريت على زراعات خرشوف حولية من الصنف إمبريال استار فى سان دياجو بكاليفورنيا لم تعط المعاملة بحامض الجبريلليك (GA_3) بتركيز ٢٠ أو ٤٠ جزءًا فى المليون، أو بالجبريللين GA_{4+7} + البنزيل أدنين (كل منهما بتركيز ٢٠ جزءًا فى المليون) بعد تسعة أسابيع أو أثنى عشر أسبوعًا من الشتل.. لم تعط التبكير والتجانس المطلوبين فى الإنتاج. هذا.. إلاّ أن الرش بحامض الجبريلليك بتركيز ٢٠ جزءًا فى المليون ثلاث مرات كل ١٤ يومًا أحدث زيادة جوهرية فى كل من المحصول المبكر والكلى، ومحصول النورات الكبيرة، وذلك عند بدء المعاملة بعد الشتل بأربعة أسابيع (Schrader ١٩٩٤).

وفى بيئة حوض البحر الأبيض المتوسط والمناطق الأخرى المماثلة لها.. تحتاج النباتات المكثرة بالبذرة إلى النمو شتاء أو خلال جزء من الشتاء لتحصل على احتياجاتها

من البرودة التى تلزم لإزهارها، وتحل المعاملة بالجبريللين محل تلك الاحتياجات؛ بما يسمح بإثمارها فى الخريف (Lin وآخرون ١٩٩١، و Mauromicale & Lerna ١٩٩٥).

وفى إيطاليا أدى رش النباتات وهى فى مرحلة الورقة السادسة – أو قبل ذلك – بتركيز ٥٠ جزءًا فى المليون إلى تبكير الحصاد بمقدار ستة أيام (عن Weaver ١٩٧٢).

وقد أدت المعاملة بالجبريللين فى قبرص إلى تبكير الحصاد بمقدار ثمانية أسابيع وزيادة المحصول بنسبة ٣٠٪، وذلك عندما كان الرش بمقدار ٣٠–٤٥ جم من حامض الجبريلليك للهكتار (١٢,٦– ١٨,٩ جم للفدان) كل ثلاثة أسابيع.

وفى الأرجنتين (بنصف الكرة الأرضية الجنوبى) أدت معاملة نباتات الخرشوف بحامض الجبريلليك برشة واحدة بتركيز ٥٠ جزءًا فى المليون فى أبريل ثم برشة أخرى بتركيز ٢٥ جزءًا فى المليون بعد شهر من الأولى إلى زيادة المحصول المبكر جوهريًا وتبكير الحصاد بنحو ٢٠ يومًا (Garcia وآخرون ١٩٩٤).

هذا.. ويمكن أن تؤدى إساءة المعاملة بالجبريللين إلى ضعف النمو النباتى، وزيادة قابلية النورات للإصابة بالأطراف السوداء، وزيادة أضرارا العنكبوت الأحمر، واستطالة النورات. تحدث هذه الأضرار إذا أجريت المعاملة قبل موعدها المناسب، أو إذا أجريت بتركيزات عالية، أو إذا كانت الحرارة عالية بصورة غير عادية وقت إجراء المعاملة أو بعد ذلك مباشرة.

وأدت معاملة الخرشوف المكثر خضريًا بالجبريللين إلى تبكير المحصول بنحو سبعة أيام – مقارنة بالكنترول – عندما كانت المعاملة بتركيز ٦٠ أو ٩٠ جزءًا فى المليون، وإلى زيادة المحصول الكلى من ١٢,٢ طن/هكتار فى الكنترول إلى ١٣,٧ طن هكتار (٥,٨ طن للفدان) عندما كانت المعاملة بتركيز ٩٠ جزءًا فى المليون، وكان مرد تلك الزيادة إلى تسبب المعاملة فى زيادة عدد الرؤوس الثانوية، ولكن ذلك كان على حساب انخفاض فى وزن الرؤوس الأولية والثانوية (Paradiso وآخرون ٢٠٠٧).

كما دُرس تأثير المعاملة بالجبريللين على ثلاثة أصناف بذرية التكاثر من الخرشوف، هى: Harmony، وMadrigal، وNun-3033، ووجدت تفاعلات جوهرية بين الصنف وتركيز حامض الجبريلك المستخدم على كل من المحصول المبكر والمحصول الكلى؛ فقد وصل المحصول المبكر للصنف Harmony أعلاه عندما كانت المعاملة بتركيز ٦٠ جزءًا فى المليون، وانخفضت الاستجابة بزيادة التركيز حتى ٩٠ جزءًا فى المليون. هذا.. بينما ازداد المحصول المبكر لكل من Madrigal، وNun-3033 بزيادة تركيز حامض الجبريلك المستعمل حتى ٩٠ جزءًا فى المليون. أما المحصول الكلى فقد انخفض بزيادة تركيز حامض الجبريلك المستخدم بين ٣٠، و٩٠ جزءًا فى المليون. وفى الصنفين Harmony، وNun-3033 كان المحصول الكلى أعلى فى الكنترول عما فى النباتات المعاملة بالجبريللين، بينما كان أعلى محصول كلى للصنف Madrigal عندما كانت المعاملة بتركيز ٣٠ جزءًا فى المليون (Baixauli وآخرون ٢٠٠٧).

ولقد كانت معاملة الخرشوف من صنف A-106 التركى بحامض الجبريلليك شديدة الفاعلية فى تبكير النضج (Temirkaynak وآخرون ٢٠٠٩).

الكرفس

تعامل حقول الكرفس بحامض الجبريلليك لأجل إسراع وصول النباتات إلى مرحلة النمو المناسبة للحصاد، وزيادة طول النبات، وكذلك طول أعناق الأوراق بمقدار ٣–٧ سم، وزيادة المحصول، وللتغلب على حالات الشدّ البيئى التى قد تنتج عند التعرض للملوحة العالية أو شدة انخفاض درجة الحرارة. وتكون المعاملة أكثر فاعلية فى الظروف البيئية غير المناسبة للنمو.

يكون الرش بتركيز ٢٥–٥٠ جزءًا فى المليون. وبينما يستعمل التركيز المنخفض كل ٣–٤ أسابيع، فإن التركيز المرتفع يستعمل قبل الحصاد بأسبوع واحد إلى أسبوعين (عن Read ١٩٨٢).

وقد أدت معاملة الكرفس بحامض الجبريلليك – فى وجود تسميد آزوتى جيد إلى زيادة المحصول بنسبة وصلت إلى ٩٧٪ تحت ظروف الصوب الزجاجية، وحتى ٣٣٪ تحت ظروف الحقل، وكانت الزيادة أكبر عند المعاملة بتركيز ٢٥ جزءًا فى المليون مقارنة بتركيز ٥٠ جزءًا فى المليون. كما أدى التركيز المرتفع تحت ظروف الحقل إلى خفض الوزن الجاف بنسبة وصلت إلى ٢٣,٢٪ مقارنة بالوزن الجاف لنباتات الكنترول، مما جعل النباتات أكثر غضاضة وأقل صلاحية للتخزين. ومن السلبيات الأخرى التى لوحظت لمعاملة حامض الجبريلليك أنها أدت إلى زيادة محتوى النباتات من النترات، خاصة عندما استعملت نترات الأمونيوم – مقارنة بسلفات الأمونيوم – فى التسميد ووصلت الزيادة فى النترات – مقارنة بالكنترول – عندما كانت المعاملة بتركيز ٥٠ جزءًا فى المليون – إلى ٢٠٠٪ تحت ظروف الصوبة، وإلى ٦٠٪ تحت ظروف الحقل (Paspatis ١٩٩٥).

ويجب عدم التبكير برش الجبريللين عن الشهر السابق للحصاد، وإلاّ فإن المعاملة قد تجعل النباتات تتجه نحو الإزهار. وتجرى المعاملة – عادة – قبل الموعد المتوقع للحصاد بنحو أسبوع واحد إلى أربعة أسابيع.

وجدير بالذكر أن الزيادة التى تحدثها معاملة الجبريللين فى طول النبات تكون من خلال زيادتها لحجم الخلايا وليس لأى زيادة فى أعدادها (عن Weaver ١٩٧٢).

الأسبرجس

تأثير البنزيل أدنين

أدى رش نباتات أسبرجس بعمر أربعة شهور من الصنفين مارى واشنطون، ويوسى ١٥٧ فى منتصف شهر نوفمبر (فى ولاية جورجيا الأمريكية) بالبنزيل أدنين بتركيزات تراوحت بين جزء واحد فى المليون، و٤٠٠ جزء فى المليون إلى تحفيز نمو السيقان مقارنة بنموها فى نباتات الكنترول، ولكن دون أن تظهر فروق معنوية بين التركيزات المستعملة. وفى الصنف مارى واشنطون ازداد عدد السيقان من ٠,٥ ساق/نبات فى

الكنترول غير المعامل إلى ٧,٨-١٣,٧ ساقًا/نبات عند المعاملة (Mahotiere وآخرون ١٩٩٣).

وبالمقارنة.. فإن رشة واحدة بالبنزيل أدنين خلال فصل الخريف حفزت نمو براعم الأسبرجس وأدت إلى زيادة قطر المهاميز خلال الفترة التى أعقبت المعاملة، ولكن ليس خلال الربيع التالى. كما أدت معاملة المهاميز الصغيرة بالبنزيل أدنين فى الربيع إلى زيادة نمو البراعم بعد المعاملة، ولكنها لم تؤثر على سمك المهاميز الجديدة. وقد أحدثت معاملة البنزيل أدنين نقصًا حادًا فى مستوى حامض الأبسيسك الطبيعى فى قمة المهاميز فى خلال ١٢ ساعة من المعاملة (Uesugi وآخرون ١٩٩٥).

تأثير حامض الجبريلليك

يعمل حامض الجبريلليك على تحفيز نمو براعم الأسبرجس. وتؤدى المعاملة بالحامض إلى إضعاف السيادة القمية وزيادة عدد المهاميز التى يتم حصادها، وتحفيز نموها. هذا.. إلا أن دراسات أخرى أظهرت عدم تأثير الجبريللين على نمو المهاميز (عن Drost ١٩٩٧).

تأثير الداى كيجيولاك

أدى نقع تيجان الأسبرجس فى محلول الداى كيجيولاك dikegulac بتركيز ٣٠٠ جزء فى المليون إلى تحفيز نمو السيقان الهوائية. كما وجد Mahotiere وآخرون (١٩٨٩) أن رش بادرات الأسبرجس وهى بعمر ٩ أشهر بالـ dikegulac-sodium بتركيزات وصلت إلى ٥٠٠ جزء فى المليون أدى إلى زيادة عدد السيقان الهوائية، خاصة عند تركيز ٣٠٠-٥٠٠ جزء فى المليون. بدأت الاستجابة بعد أربعة أسابيع من المعاملة واستمرت طوال مدة تسجيل النتائج التى دامت عشرة أسابيع؛ هذا.. إلاّ أن معظم النمو لم يؤثر على ارتفاع النبات، أو وزنه الطازج أو الجاف خلال تلك المرحلة من النمو. وحتى قطع النموات الهوائية.. فإن المعاملة استمرت مؤثرة فى زيادة عدد النموات الجديدة.

الفصل السادس عشر

بعض تحديات إنتاج الخضر ووسائل التغلب عليها

سكون وإنبات البذور ودرنات التقاوى

الخس

لقد تبين أن الاحتياجات الضوئية لإنبات البذور فى الخس يتم تنظيمها من خلال الغلاف الثمرى، وخاصة طبقات البشرة الداخلية endodermis التى إذا ما أزيلت فإن بذور الخس الحساسة للضوء تنبيت إنباتًا كاملاً فى الظلام. وبتعريض البذور للضوء أثناء تشربها بالماء فإن القوة التى تلزم لنفاذ الجنين من الغلاف الثمرى تقل بشدة؛ بما يسمح للجنين بالنفاذ. تبدأ المرحلة الحساسة للضوء بعد بداية امتصاص البذور للماء بنحو ٩٠ دقيقة، ولا تتأثر الاستجابة للضوء بأى من درجة الحرارة أو الأكسجين. ويمكن للمعاملة بحامض الجبرلليك أن تحل محل الاحتياجات الضوئية؛ وربما يحدث ذلك التأثر للجبريللين من خلال جعله طبقة الإندوسبرم — فى الأصناف ذات الاحتياجات الضوئية للإنبات — أقل صلابة فى الظلام.

وتختلف أصناف الخس كثيرًا فى احتياجاتها الضوئية للإنبات، ولكن معظم الأصناف لا يلزمها الضوء للإنبات فى حرارة ٢٠-٢٥ °م. ويوجد تفاعل قوى بين الحرارة والضوء فى التأثير على الإنبات؛ فنجد — مثلاً — أن بذور الصنف Grand Rapids تنبت بسهولة فى الظلام على حرارة ١٥ °م، ولكن إنباتها يثبط بشدة فى الظلام على حرارة ٢٠°م أو أعلى من ذلك.

وبسبب الحساسية للضوء .. وجد أن بذور الأصناف ذات الاحتياجات الضوئية للإنبات تأخر إنباتها كثيرًا عندما زرعت على عمق ٦ مم مقارنة بزراعتها على عمق ٢ مم، علمًا بأن أقل من ١٪ من الأشعة الشمسية الساقطة تنفذ إلى عمق يزيد عن ٢,٢ مم فى الأراضى الناعمة. وتزداد حدة المشكلة باستعمال البذور المغلفة فى الزراعة إلا إذا كان الغلاف المستعمل يذوب بسرعة أو يتشقق بمجرد بلة بالماء (عن Wien ١٩٩٧).

معاملات منظمات النمو

يمكن أن تحل معاملة بذور الخس ببعض منظمات النمو محل الاحتياجات الضوئية لكسر حالة السكون. مثال ذلك.. المعاملة بحامض الجبرلليك، الذى أمكن عزله من بذور الخس والفاصوليا وغيرهما؛ مما يدل على أن له دورًا فى الإنبات فى الطبيعة. كذلك يُحسن إندول حامض الخليك IAA من إنبات بذور الخس فى الظلام، ولكن تأثيره لا يكون واضحًا إلاّ عندما تكون نسبة الإنبات فى الظلام — فى البذور غير المعاملة— منخفضة بدرجة كبيرة. أما إذا كانت نسبة الإنبات متوسطة الارتفاع أصلاً.. فإن المعاملة بالـ IAA لا يكون لها تأثير يذكر فى هذا الشأن (Mayer & Poljakoff-Mayber ١٩٨٢).

كذلك وجد أن المعاملة بحامض الجبرلليك حفزت الإنبات حتى مع التعرض للأشعة تحت الحمراء، بينما كان للإثيلين مع الجبريللين تأثيرًا تداؤبيًّا (أكثر فاعلية من أى منهما منفردًا) على الإنبات. وفى المقابل فإن الأنسيميدول Ancymidol (وهو مثبط لتمثيل الجبريللين) ثبط الإنبات حتى مع التعرض للضوء الأحمر.

كما أمكن التغلب على السكون الحرارى بالمعاملة بالثيوريا thiourea، والكينيتن، والإثريل. كذلك وجد تأثير تداؤبى لبعض المركبات. فمثلاً.. وجد أن المعاملة بالجبريللين والكاينتين معًا أدت إلى تحفيز الإنبات فى الحرارة العالية بدرجة زادت عن المعاملة بأى منهما منفردة، بينما حفز ثانى أكسيد الكربون فى وجود الإثيلين الإنبات على حرارة ٣٥ °م. وازداد الإنبات بزيادة الفترة بعد الحصاد (after ripening) حتى ثلاث سنوات، ولكن تدهورت حيوية البذور بعد ذلك ولم تكن قادرة على الإنبات حتى على ١٥ °م (عن Ryder ١٩٩٩).

وقد أمكن إنبات بذور الخس فى حرارة ٣٥ °م بنقع البذور لمدة ٣ دقائق فى محلول كاينتين Kinetin، بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون (Smith وآخرون ١٩٦٨). وفى دراسة أخرى .. وجد أن نقع بذور الخس صنف هلدى Hilde فى الكاينتين (بتركيز ٢,٣ × ١٠^-٥ مولار)

لمدة أربع ساعات، ثم تخفيفها لمدة ساعة، أدى إلى رفع درجة الحرارة القصوى للإنبات فى الضوء من ٢٢,٥ إلى ٣٠,٥ °م، واستمر ذلك التأثير ساريًا حتى بعد ٣٠ أسبوعًا من المعاملة (Gray & Steckel ١٩٧٧).

كما وجد أيضًا أن نقع بذور الخس صنف فونكس Phoenix لمدة ٣ دقائق فى محلول كاينتين بتركيز ١٠ أجزاء فى المليون، ثم تجفيفها فى الهواء.. أدى إلى زيادة نسبة إنبات البذور فى كل من درجة الحرارة المرتفعة والضغط الأسموزى المرتفع (Odegbaro & Smith ١٩٦٩).

كذلك وجد Zeng & Khan (١٩٨٤) أن معاملة بذور الخس من الأصناف: جراند رابيدز Grand Rapids، وميزا ٦٥٩ Mesa 659 قبل الزراعة بأى من منظمات النمو pthalimide، أو GA_{4+7} مع الكاينتين بمفرده أو مع الإثيفون .. أدت إلى تقليل الأثر الضار للحرارة المرتفعة (٢٠ °م ليلاً لمدة ١٢ساعة/٣٠ °م نهارًا) على إنبات البذور وظهور البادرات من التربة. وقد أدت المعاملة بـ GA_{4+7} أيضًا إلى إحداث زيادة كبيرة فى طول السويقة الجنينية السفلى، مقارنة بالمعاملة بالـ pthalimide.

كما أدى نقع بذور ثلاثة أصناف من الخس فى محلول K_3PO_4 بتركيز ١٪ مدة ساعتين فى الظلام إلى خفض شدة تعرضها للسكون الحرارى. وأدت إضافة البنزيل أدنين إلى محلول النقع بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون إلى زيادة نسبة إنبات بذور الصنف جريت ليكس — فى أطباق بترى على ٣٥ °م — من ٦٥٪ فى البذور التى سبق نقعها فى K_3PO_4 فقط إلى ٩٢٪ عندما أضيف البنزيل أدنين. وكانت تلك النسب فى الصنف South Bay هى: ٢٤٪، و٨٦٪، على التوالى (Cantiffe ١٩٩١).

كذلك تؤدى معاملة بذور الخس بالكينتين Kinetin إلى جعلها أكثر حساسية للضوء، بحيث يمكن لأقل معاملة ضوئية أن تؤدى إلى كسر حالة السكون. لذلك يعتبر الكينتين عاملاً مساعدًا على الإنبات فى الظلام ولكنه لا يحل محل الاحتياجات الضوئية كلية.

ويمكن زيادة فاعلية المعاملة بالكينتين بنقع البذور فى الأسيتون، أو فى الـ dichloromethane أولاً، ثم تجفيفها تحت تفريغ قبل نقعها فى محلول الكينتين فى حرارة ٢٥°م. وتعمل هذه المذيبات العضوية على إسراع تشرب البذور بالكينتين. كذلك وجد أن الأسيتون يسرع من تشرب البذور بالـ GA_3، والـ IAA، دون أن يكون له تأثير ضار على البذور.

البرايمنج

تُهيأ البذور للإنبات إما بنقعها فى محاليل ذى ضغط أسموزى عال ثم زراعتها مباشرة، أو تجفيفها أولاً لتخزينها مؤقتًا قبل زراعتها (طريقة البرايمنج الأسموزى osmotic priming)، وإما بكمرها لفترة محدودة فى بيئة صلبة رطبة قبل زراعتها (طريقة الـ matric priming).

يستخدم فى نقع البذور بطريقة الـ osmotic priming إما محاليل البوليثيلين جليكول أو محاليل أخرى عضوية أو لأملاح معدنية تختلف فى ضغطها الأسموزى.

لقد أدى نقع بذور الخس فى البوليثيلين جليكول ٨٠٠٠ (– ١,٥٦ ميجاباسكال) لمدة ٢٤ ساعة على ١٨°م ثم تجفيفها إلى ٦٪ محتوى رطوبى.. أدى إلى منع دخول البذور فى سكون ثانوى فى حرارة تراوحت بين ٣٢، و٣٧°م وأسرع إنباتها فى كل درجات الحرارة.

الكرفس

انخفاض نسبة إنبات البذور

تنخفض نسبة الإنبات فى بذور الكرفس – عادة – عن كثير من الخضر الأخرى، ويرجع ذلك إلى الأسباب التالية:

١– وجود بذور طبيعية المظهر، ولكنها خالية من الأجنة بسبب تغذية حشرة الليجس Lygus bug على الأجنة أثناء تكوينها. كما توجد أدلة على أن الحشرة تفرز مواد سامة للجنين أثناء تغذيتها.

٢- فشل أجنة بعض البذور فى أن تنمو بصورة كاملة.

٣- مرور بذور الكرفس بحالة سكون، يتأثر خلالها الإنبات بكل من الضوء ودرجة الحرارة.

فمثلاً.. وجد أن المجال الحررى الملائم لإنبات بذور خمسة أصناف من الكرفس فى الضوء تراوح بين ١٠ و١٥°م، بينما تراوحت درجة الحرارة العظمى للإنبات بين ٢٠ و٣٠°م. وأدى تبادل درجات الحرارة فيما بين ١٢° – ١٥°م ليلاً، و٢٢° – ٢٥°م نهارًا إلى زيادة نسبة الإنبات إلى ٨٠٪ على الأقل.

ويقل إنبات بذور الكرفس حتى فى درجات الحرارة المتوسطة الارتفاع مثل ٢٥°م، بينما يكون الإنبات جيدًا فى حرارة ثابتة مقدارها ١٥°م أو فى حرارة متغيرة مقدارها ٢٥°م نهارًا مع ١٥°م ليلاً. ويؤدى تعريض البذور للضوء أثناء استنباتها على ٢٥°م إلى زيادة نسبة الإنبات بقدر يتوقف على الصنف. وتؤدى معاملة النقع فى المحاليل ذات الضغط الأسموزى المرتفع إلى إسراع إنبات البذور (Pérez-Garcia وآخرون ١٩٩٥).

ويتأثر إنبات بذور الكرفس بموقعها الذى كانت عليه فى نورة النبات الأم الذى أنتج البذور. وقد وجد أن البذور التى كانت تُحمل على النورات الأولية أو الثانوية كانت عند استنباتها أقل سكونًا وأعلى فى نسبة إنباتها مقارنة بتلك التى كانت تُحمل على نورات المستويين الثالث أو الرابع (Pressman ١٩٩٧).

تأثير الضوء فى الإنبات وعلاقة ذلك بدرجة الحرارة

يمكن لبذور الكرفس أن تنبت فى الظلام إن كان استنباتها فى حرارة منخفضة تتراوح بين ١٠، و١٥°م. أما فى حرارة ٢٠-٢٥°م فإن البذور تبقى ساكنة فى الظلام، وتتطلب التعرض للضوء لكى تنبت، ولكن لا يفيد التعريض للضوء إن كان الاستنبات فى حرارة ٣٠°م أو أعلى من ذلك.

ولقد وجد أن الضوء الأحمر هو الذى يحفز الإنبات فى البذور التى سبق تشربها بالماء وهى فى الظلام، كما وجد أن هذا التأثير للضوء الأحمر يزول إذا أعقبه تعرض

البذور للأشعة تحت الحمراء؛ مما يعني أن تلك النوعية من الاستجابة للضوء تتم من خلال صبغات الفيتوكروم.

وإلى جانب تأثر الحاجة إلى الضوء بدرجة الحرارة، فإن تلك الحاجة تختلف باختلاف الأصناف؛ فقد أنبتت بذور خمسة أصناف من الكرفس — بنسب متفاوتة — في الظلام في حرارة ١٥ °م. ولم يحدث إنبات في صنفين فقط — في الظلام — مع حرارة ١٨ °م، بينما فشلت بذور الأصناف الخمسة في الظلام في حرارة ٢٢ °م. وعلى العكس من ذلك.. فقد أنبتت بذور جميع الأصناف بصورة طبيعية في حرارة ٢٢ °م في الضوء. كان الصنف لاثوم بلانشنج Lathom Blanching أكثرها تأثرًا بالظلام والحرارة المرتفعة، بينما كان الصنف فلوريدا ٦٨٣ Florida 683 أقلها تأثرًا.

وقد اقترح أن الضوء — من خلال الفيتوكروم — يحفز تمثيل الجبريللينات الضرورية لإنبات البذور. ومما يؤكد دور الجبريللين في هذا الشأن أن تأثير الضوء المحفز للإنبات يمكن الحد منه بالمعاملة بمثبطات تمثيل الجبريللينات (Pressman ١٩٩٧).

دور المعاملات الهرمونية في التخلص من الاحتياجات الضوئية

يمكن التخلص من الحاجة إلى التعرض للضوء بغمر البذور وهي على ٥ °م في مخلوط من الجبريللين GA_4، وGA_7، بالإضافة إلى الإثيفون، أو بنقعها في محاليل ذات ضغط أسموزي عالٍ (Osmotic priming) باستعمال البوليثيلين جليكول على ١٥ °م في الضوء. ويبدو أن الضوء يحفز إنتاج الجبريللينات الضرورية للإنبات، وكلما ارتفعت درجة الحرارة كلما ازدادت الحاجة إلى الإضاءة.

وتتوقف استجابة بذور الكرفس للضوء والمعاملات الكيميائية — إلى حد كبير — على درجة الحرارة. ففي الحرارة المنخفضة يمكن أن يحدث الإنبات دونما احتياج للضوء. ويمكن أن تُحدث معاملة البذور بالبرودة على ١ °م تغيرات جزئية في التوازن الهرموني بها يخلصها من السكون الظلامي. وتلعب كل من الجبريللينات والسيتوكينينات دورًا في هذا الشأن.

ويتحقق ذلك التوازن الهرمونى اللازم للإنبات — فى الظلام — بمعاملة البذور بخليط من الجبريللينات GA_4، و GA_7، وتزيد بعض السيتوكينينات — مثل الكينتين Kinetin، وبنزيل أدنين benzyladenine — تزيد من فاعلية الجبريللين (Ryder ١٩٧٩).

وتأكيدًا لذلك، وجد أن تأثير الجبريللين فى التخلص من السكون يزداد عندما تضم المعاملة — كذلك — السيتوكينينات (مثل البنزيل أدنين) أو أحد المبيدين الفطريين daminozide، وbenzimidazole. وقد اختلفت أصناف الكرفس فى مدى استجابتها لتلك المعاملات، وبدا أن بذور الأصناف التى استجابت لتركيزات منخفضة من الـ GA_{4+7} احتوت على قدر أقل من مثبطات الإنبات الطبيعية عن تلك التى احتاجت لتركيزات عالية من الـ GA_{4+7} أو السيتوكينين أو مخلوط منهما. وأوضحت الدراسات احتواء بذور الكرفس الحديثة الحصاد على مثبطات طبيعية أمكن التخلص منها سريعًا بالغسيل بالماء؛ مما يدل على وجود تلك المثبطات فى الطبقات الخارجية من البذرة (عن Rubatzky وآخرين ١٩٩٩).

وقد تبين أن معاملة البذور بالجبريللين تحفز تحلل الإندوسبرم. وبينما لا تلعب السيتوكينينات هذا الدور، فإنها ربما تحفز نشاط الإنبات فى البذور المعاملة بالجبريللينات، وربما تحفز دخول الجبريللينات فى البذور من خلال تأثيرها على قصرة البذرة.

الفلفل

يتأثر إنبات بذور الفلفل سلبيًا بارتفاع درجة الحرارة إلى ٣٥°م، بينما تنخفض نسبة الإنبات إلى أقل من ٥٪ فى حرارة ثابتة مقدارها ٤٠°م، إلا أن تباين الحرارة بين ٤٠°م نهارًا، و٢٥، أو ٣٠، أو ٣٥°م ليلاً يقلل من الأثر الضار للحرارة المرتفعة نهارًا، ويزداد التأثير الإيجابى للحرارة المنخفضة ليلاً بزيادة الفرق بين درجتى حرارة الليل والنهار. ومن بين سبعة أصناف تم اختبارها كان أكثرها قدرة على الإنبات فى حرارة ثابتة مقدارها ٣٥°م الصنفين مِركورى Mercury، ويولو واندر بى Yolo Wonder B. ويعد هذا التأثير السلبى للحرارة العالية على إنبات البذور نوعًا من السكون الحرارى،

حيث أن معظم البذور التى أنبتت فى حرارة ٤٠°م لم تكن فاقدة الحيوية، كما كانت نسبة البذور الفاقدة الحيوية من تلك التى لم تنبت فى حرارة ٢٥°م أعلى من نظيراتها التى لم تنبت فى حرارة ٤٠°م (Coons وآخرون ١٩٨٩).

وقد أمكن التغلب على هذا السكون الحرارى فى ٤٠°م فى بذور صنف الفلفل جالابينو إم Jalapeno M بمعاملة البذور بكل من حامض الجبريلليك GA_3، والإثيفون معًا، حيث كانت نتائج المعاملات المختلفة، كما يلى (Carter & Stevens ١٩٩٨).

المعاملة	الإنبات (٪)
الاستنبات فى حرارة ٢٥°م	٩٩
الاستنبات فى حرارة ٤٠°م	صفر
الاستنبات فى حرارة ٤٠°م مع سبق النقع فى الماء لمدة ٧ أيام	٤٠
الاستنبات فى حرارة ٤٠°م مع المعاملة بالإثيفون (٣,٥ مللى مولار)	٥٠
الاستنبات فى حرارة ٤٠°م مع المعاملة بالـ GA_3 (٣,٠ مللى مولار)	٧٩
الاستنبات فى حرارة ٤٠°م مع المعاملة بكل من الإثيفون والـ GA_3	٩١

البطيخ الثلاثى

التصاق الغلاف البذرى بالفلقات

غالبًا ما يلتصق الغلاف البذرى بالورقتين الفلقيتين فى البطيخ الثلاثى؛ مما يجعل البادرات عاجزة عن إكمال نموها بصورة طبيعية. يحدث هذا الأمر — غالبًا — عندما تكون زراعة البذور بقمتها المدببة (التى يوجد عندها الجذير) متجهة لأسفل. ويمكن التغلب على تلك المشكلة بزراعة البذور أفقية أو زراعتها وقمتها المدببة متجهة إلى أعلى بزاوية ٤٥° أو ٩٠° (Egel ١٩٩٩).

رطوبة بيئة الزراعة وتفاعلها مع الغلاف البذرى

بينما لم تؤثر رطوبة بيئة الزراعة (بالزيادة أو بالنقصان) وتجريح البذور على إنبات بذور البطيخ الثنائى البذرى، فإن زيادة رطوبة بيئة الزراعة أدت إلى خفض نسبة إنبات بذور البطيخ الثلاثى اللابذرى إلى ١٥٪، بينما أدى تجريح البذور (أو حَزِّها nicking)

إلى زيادة نسبة إنباتها إلى ٤٠٪، وهى نسبة لا تُعد مقبولة تجاريًا. ويعتقد بأن الغلاف البذرى ليس هو وحده المسئول عن انخفاض نسبة إنبات بذور البطيخ الثلاثى، وإنما يرجع ذلك – أيضًا – إلى حساسية البذور الشديدة للرطوبة العالية فى بيئة الزراعة (Grange وآخرون ٢٠٠٠).

وسائل التغلب على مشكلة تأثير الغلاف البذرى على الإنبات

غالبًا ما يكون إنبات بذور البطيخ الثلاثى غير منتظم مع حدوث ضعف فى نمو البادرات. وقد دُرست مواصفات الغلاف البذرى فى بذور الصنفين الثلاثيين TriX313، وTriX Sunrise بالميكروسكوب الإليكترونى الماسح للتعرف على ما قد يوجد بها من اختلافات تركيبية مقارنة بالبذور الثنائية. كذلك دُرس تأثير تحضين بذور البطيخ الثلاثى مع معاملات لزيادة الأكسجين، تضمنت الحزّ والتجريح nicking، والمعاملة بفوق أكسيد الأيدروجين H_2O_2 بنسبة ١٪، والمعاملة بـ ٤٠٪ أكسجين، وذلك فى رطوبة منخفضة أو مرتفعة لبيئة الزراعة. ولقد وجد أن البذور الثلاثية كان غلافها البذرى أسمك مع وجود طبقة سميكة من الـ endotesta، وحيز هوائى أكبر يُحيط بالمحور الجنينى، مقارنة بما فى البذور الثنائية. هذا وقد امتصت بذور جميع الأصناف الماء سريعًا (حتى حوالى ٥٠٪ من وزنها الأصلى) فى خلال الساعة الأولى من التحضين، مع حدوث زيادة أكبر فى امتصاص البذور الثلاثية للماء عما كان عليه الحال فى البذور الثنائية. وأثرت الرطوبة العالية بدرجة أقل فى البذور الثنائية مقارنة بالثلاثية. وتراوح إنبات البذور الثلاثية فى الرطوبة المنخفضة من ٩٦٪ إلى ٧٦٪، لكن الإنبات انخفض بشدة إلى أقل من ٢٧٪ فى الرطوبة العالية.

وقد دُرس تأثير معاملة بذور البطيخ الثلاثى صنف Gensis بمحلول مائى من فوق أكسيد الأيدروجين – أثناء إنباتها فى الآجار – بتركيزات تراوحت بين صفر٪ و٨٪ على حرارة ٢٨°م، وكذلك معاملات إزالة الغلاف البذرى أو قص الغلاف البذرى من الطرف العريض للبذرة البعيد عن الجذير، ووجد أن جميع المعاملات حسَّنت إنبات

البذور، مقارنة بإنباتها فى معاملة الكنترول، إلاّ أن المعاملة بالـ H_2O_2 بتركيز يزيد عن ٢٪ أحدثت أضرارًا شديدة بالبذور النابتة (Duval & NeSmith ٢٠٠٠).

وأمكن تحسين إنبات البذور الثلاثية جوهريًّا فى الرطوبة العالية فى وجود أى من الـ H_2O_2 أو ٤٠٪ أكسجين. وتبين أن بذور البطيخ الثلاثى حساسة جدًّا لظروف الغدق، وربما كان مرد ذلك إلى إحداث الغدق لخلل فسيولوجى ومورفولوجى بها. وربما يؤدى الامتصاص السريع الزائد للرطوبة فى كل من الغلاف البذرى والحيز الهوائى المحيط بالجنين إلى نقص انتشار الأكسجين إلى الجنين، وإتلاف المسارات الأيضية التى تقود إلى الإنبات الطبيعى ونمو البادرات الطبيعى (Grange وآخرون ٢٠٠٣).

النسبة الجنسية Sex Ratio والتعبير الجنسى Sex Expression القرعيات

يعتبر عدد العقد على الساق حتى ظهور أول زهرة مؤنثة، أو خنثى من الصفات الوراثية الثابتة لكل صنف، وكلما قربت أول عقدة تحمل زهرة مؤنثة، أو خنثى من قاعدة الساق دل ذلك على ارتفاع نسبة الأزهار المؤنثة، أو الخنثى إلى الأزهار المذكرة. وكل العوامل التى تزيد نسبة الأزهار المؤنثة تؤدى بطبيعة الحال إلى ظهور أول زهرة مؤنثة على عقدة أقرب لقاعدة الساق. وعلى العكس من ذلك.. فإن كل العوامل التى تزيد نسبة الأزهار المذكرة تؤدى إلى ظهور أول زهرة مؤنثة على عقدة بعيدة عن قاعدة الساق. وترجع أهمية النسبة الجنسية إلى أن الأزهار المؤنثة هى التى تنتج الثمار، وهى تتأثر بكل من حالة النبات، والظروف البيئية، ومعاملات منظمات النمو.

فكلما كثر عدد الثمار التى يحملها النبات فى وقت واحد، اتجه النبات نحو تكوين أزهار مذكرة. ونجد بصفة عامة أن ظروف الحرارة المنخفضة، والإضاءة الضعيفة، والنهار القصير تؤدى إلى زيادة نسبة الأزهار المؤنثة، بينما تؤدى ظروف الحرارة المرتفعة، والإضاءة العالية، والنهار الطويل إلى زيادة نسبة الأزهار المذكرة.

وتتحدد النسبة الجنسية لمختلف القرعيات عند مرحلة نمو الورقة الحقيقية الثانية؛ ولذا.. فإن العوامل البيئية التى تسود خلال الأسبوعين الأول والثانى بعد

الزراعة تكون — غالبًا — مؤثرة على النسبة الجنسية فى مراحل النمو الأولى (عن NeSmith & Hoogenboom ١٩٩٤).

المعاملات الكيميائية المؤثرة فى النسبة الجنسية

تؤدى معاملة نباتات القرعيات فى طور مبكر من النمو بالماليك هيدرازيد بتركيز ٢٥٠–٥٠٠ جزء فى المليون، أو بالأوكسينات مثل نفثالين حامض الخليك NAA بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون، و٢، ٣، ٥– ثلاثى يوديد حامض البنزويك 2,3,5- triiodobenzoic acid بتركيز ٢٥ جزءًا فى المليون إلى زيادة نسبة الأزهار المؤنثة، إلا أن أكثر منظمات النمو تأثيرًا فى هذا الشأن هو الإثيفون Ethephon، حيث تؤدى رشة واحدة أو عدة رشات منه بتركيز ١٢٥–٢٥٠ جز فى المليون فى مراحل نمو وتكوين الورقة الحقيقية الأولى حتى الخامسة إلى إحداث زيادة جوهرية فى نسبة الأزهار المؤنثة أو الكاملة، بينما يقل أو ينعدم ظهور الأزهار المذكرة على الخمسة عشرة عقدة الأولى، ثم تعود النباتات إلى حالتها الطبيعية بعد ذلك. وتؤدى هذه المعاملة إلى زيادة المحصول المبكر، والمحصول الكلى فى القرعيات، وخاصة فى المحاصيل التى تقطف ثمارها وهى صغيرة مثل الكوسة والخيار، كما يمكن الاستفادة من التأثير الذى تحدثه هذه المعاملة عند إنتاج هجن القرعيات، حيث تعامل نباتات خطوط الأمهات، وتؤخذ البذور من الثمار التى تعقد أولاً (de Wilde ١٩٧١).

وعلى العكس من التأثير الذى تحدثه منظمات النمو التى سبق ذكرها.. فإن معاملة القرعيات بحامض الجبريلليك GA_3، وبعض الجبريللينات الأخرى تؤدى إلى إحداث زيادة كبيرة فى نسبة الأزهار المذكرة. وتفيد هذه المعاملة عند إكثار بذور الأصناف المؤنثة gynoecious، حيث تؤدى إلى جعل هذه الأصناف وحيدة الجنس وحيدة المسكن فى مراحل نموها الأولى، وبذلك يمكن أن تعقد الثمار، وتتكون فيها بذورًا تحمل أجنتها الصفة الوراثية للنباتات المؤنثة لزراعتها تجاريًا.

وعمومًا.. فإن القرعيات تتجه نحو تكوين الأزهار المؤنثة أو الخنثى عند معاملتها بأى من المركبات التالية :

acetylene

ethylene

carbon monoxide

allyltrimethylammonium bromide

2,4-D

maleic hydrazide

indoleacetic acid

napthaleneacetic acid

N-(p-chlorophenyl) phthalamic acid

2,3,5-triiodobenzoic acid

N,N-dimethylaminosuccinamic acid (Alar)

وبالمقارنة.. يحدث التأثير العكسى– بزيادة الاتجاه نحو تكوين الأزهار المذكرة – عند معاملة القرعيات بأى من المركبات التالية (عن Wittwer ١٩٨٣).

Gibberellins

1-(1-cyclohexene-1, 2-dicarboximido)-cyclohexanecarboxamide (phthalimides)

aminoethoxyvinylglycine (AVG)

5-methyl-7-chloro-4-ephoxycarbonylnethoxy-2, 1,3-benzothiadiazole

silver nitrate

(MCEB)

العوامل المؤثرة فى النسبة الجنسية

تتأثر النسبة الجنسية فى القرعيات بالعوامل التالية:

أولاً: العوامل البيئية الزراعية

إن أهم العوامل البيئية والزراعية المؤثرة فى النسبة الجنسية فى القرعيات ما يلى:

١- درجة الحرارة:

يزداد إنتاج الأزهار المؤنثة، ومن ثم تضيق نسبة الأزهار المذكرة إلى الأزهار المؤنثة بانخفاض درجة الحرارة. وعلى الرغم من أن متوسط درجة الحرارة اليومى هو العامل الأساسى المؤثر فى النسبة الجنسية، إلا أن درجة حرارة الليل تلعب دورًا جوهريًّا فى هذا الشأن، حيث تناسب حرارة الليل العالية تكوين الأزهار المذكرة عند تساوى متوسط درجة الحرارة اليومى. ويحدث التأثير الحرارى على النسبة الجنسية إما خلال فترة تميز مبادئ الأزهار كما فى الخيار، وإما أثناء تطور الزهرة — حتى نضجها — كما فى الكوسة، حيث قد تمنع الحرارة المنخفضة استمرار تطور وتكوين الأزهار المذكرة بعد تميزها؛ مما يؤدى إلى حدوث ظاهرة الإزهار الأنثوى غير العادى precocious female flowering.

٢- شدة الإضاءة:

تناسب الإضاءة الشديدة إنتاج الأزهار المؤنثة، بينما يؤخر التظليل أو الإضاءة الضعيفة بداية تكوين الأزهار المؤنثة، ويتفق ذلك مع الزيادة الكبيرة التى تلاحظ فى نسبة الأزهار المذكرة إلى الأزهار المؤنثة فى قرع الكوسة صيفًا، حيث ترتفع كثيرًا كلا من درجة الحرارة والفترة الضوئية.

٣- الفترة الضوئية:

لا يكون تأثير الفترة الضوئية على النسبة الجنسية بنفس قوة تأثير درجة الحرارة وشدة الإضاءة فى غالبية الأصناف. وعمومًا فإن فترة الإضاءة القصيرة تناسب إنتاج الأزهار المؤنثة.

ولا شك أن العوامل البيئية الثلاثة — درجة الحرارة، وشدة الإضاءة، والفترة الضوئية — تتفاعل معًا فى التأثير على النسبة الجنسية، وعندما يحدث ذلك فإن شدة

الإضاءة يكون لها الدور الأكبر أهمية. وبسبب هذه التأثيرات للعوامل البيئية الثلاثة فإن النسبة الجنسية تختلف فى الصنف الواحد باختلاف مواقع الزراعة، ومواعيد الزراعة.

٤- التسميد الآزوتى:

تؤدى زيادة مستويات التسميد الآزوتى — فى الخيار — إلى تأخير إنتاج الأزهار المؤنثة.

٥- كثافة الزراعة:

تؤدى زيادة كثافة الزراعة إلى زيادة أعداد ونسب الأزهار المذكرة، وربما يُحدث هذا العامل تأثيره من خلال نقص مستويات الإضاءة التى تتيسر لكل نبات على حدة عندما تكون متزاحمة.

ويمكن القول إجمالاً أن العوامل البيئية التى تحفز تكوين الغذاء المجهز وتراكم المواد الكربوهيدراتية فى النبات، والتى تحد من نموه الخضرى تناسب تكوين الأزهار المؤنثة، بينما تؤدى العوامل التى تحفز النمو الخضرى وتقلل من مخزون المواد الكربوهيدراتية فى النبات (مثل: الحرارة العالية، والإضاءة الضعيفة، وكثرة الآزوت المتوفر للنباتات، وزيادة كثافة الزراعة).. تؤدى إلى زيادة الاتجاه نحو تكوين الأزهار المذكرة.

ثانيًا: الهرمونات ومنظمات النمو

تلعب منظمات النمو دورًا أساسيًّا فى تحديد النسبة الجنسية فى القرعيات، وتتوفر الأدلة على ذلك من كل من الدراسات التى وجد فيها ارتباط بين مستويات منظمات النمو الطبيعية فى النبات وبين حالته الجنسية، وتلك التى قورن فيها تأثير معاملات منظمات النمو على النسبة الجنسية. وإلى جانب مساعدتنا فى تفهم ظاهرة التعبير الجنسى فى القرعيات، فإن معاملات منظمات النمو أسهمت فى تطوير إنتاج الأصناف الهجين.

١- الجبريللينات:

تؤدى المعاملة بحامض الجبريلليك GA_3 إلى دفع الخيار، والكوسة، والكنتالوب إلى تكوين أزهار مذكرة فى العقد التى تتكون عندها — عادة — أزهارًا مؤنثة، ويكون الجبريللين الخليط GA_{4+7} أكثر تأثيرًا فى هذا الشأن من حامض الجبريلليك GA_3.

٢- الإثيلين:

عُرف تأثير الإثيلين على التعبير الجنسى فى القرعيات بعدما وجدَ أن معاملة الخيار وحيد الجنس وحيد المسكن بالإثيفون ethephon (وهو 2-chloroethylphosphonic acid) تؤدى إلى منع تكوين الأزهار المذكرة عند العقد السفلى للنبات، وزيادة أعداد الأزهار المؤنثة المتكونة. وفى الكنتالوب أدت معاملة النباتات وحيدة الجنس وحيدة المسكن بالإثيفون إلى تحفيز تكوين الأزهار المؤنثة دون إحداث تغيّر يذكر فى أعداد الأزهار المذكرة، بينما أدت معاملة النباتات التى تحمل أزهارًا مذكرة وأزهارًا خنثى (الـ andromonoecious)، إلى زيادة تكوين الأزهار الخنثى وتثبيط تكوين الأزهار المذكرة. وفى نباتات الكوسة وحيدة الجنس وحيدة المسكن أدت المعاملة بالإثيفون إلى تثبيط تكوين الأزهار المذكرة وتحفيز تكوين الأزهار المؤنثة. لذا.. فإن المعاملة بالإثيفون يستفاد منها فى إنتاج هجن الخيار والكوسة من أجل تأكيد عدم إنتاج سلالات الأمهات فى الهجن لأى أزهار مذكرة.

وقد تأكد دور الإثيلين فى التأثير على النسبة الجنسية فى القرعيات عندما وجد أن المركبات التى تثبط تكوين الإثيلين أو تثبيط فعله لها تأثير على التعبير الجنسى معاكس لتأثير الإثيفون. فمثلاً.. أدت معاملة نباتات الخيار الأنثوى بالمركب aminoethoxyvinylglycine (اختصارًا AVG) إلى إنتاجها لأزهار مذكرة وأخرى كاملة. وتستعمل نترات الفضة وثيوكبريتات الفضة silver thiosulphate بواسطة مربى الخيار لدفع سلالات الخيار الأنثوية إلى تكوين أزهار مذكرة ليمكن إكثارها، مع تجنب التأثير السلبى لاستطالة السلاميات الذى تحدثه المعاملة بالجبريللين.

وبالمقارنة.. فإنه يبدو أن البطيخ شديد الحساسية لمعاملة الإثيفون بدرجة أكبر من القرعيات الأخرى، حيث كانت استجابته للإثيفون سلبية على إنتاج الأزهار المؤنثة. فقد أدى تعريض نباتات البطيخ للإثيفون بتركيز ٣٠ ميكروليترًا/لتر إلى تثبيط تكوين الأزهار المؤنثة، بينما كان تأثير المعاملة على الأزهار المذكرة أقل وضوحًا. وأدت معاملة البطيخ بنترات الفضة أو الـ AVG إلى تثبيط إنتاج الأزهار المؤنثة والخنثى، مع خفض

بسيط فى إنتاج الأزهار المذكرة. وتعنى هذه الاختلافات بين البطيخ والقرعيات الأخرى فى الاستجابة للمعاملة بالإثيلين والمركبات المضادة له وجود اختلافات مماثلة بينها فى كيفية نشأة الأنواع المختلفة من الأزهار فى كل منها.

وقد أيدت نتائج تحليل مستوى الإثيلين فى بادرات القرعيات دوره التنظيمى وتأثيره على التعبير الجنسى. ففى الخيار وجد أن القمم النامية للسلالات الأنثوية تنتج الإثيلين بكميات تفوق تلك التى تنتجها السلالات وحيدة الجنس وحيدة المسكن، والسلالات المذكرة (الـ androecious)، كما كان إنتاج الإثيلين أعلى فى البراعم الزهرية المؤنثة عما فى البراعم الزهرية المذكرة، وازداد إنتاج السلالات وحيدة الجنس وحيدة المسكن من الإثيلين فى وقت تكوين مبادئ الأزهار المؤنثة. كذلك حفزت الفترة الضوئية القصيرة إنتاج الإثيلين مقارنة بالفترة الضوئية الطويلة، وتوافق ذلك مع زيادة إنتاج الأزهار المؤنثة فى الفترة الضوئية القصيرة، مقارنة بالفترة الطويلة.

٣- الأوكسين:

أدت معاملة نباتات الخيار الصغيرة بالأوكسين الطبيعى أو بالأوكسينات المخلقة — مثل نفثالين حامض الخليك — إلى تحفيز تكوين الأزهار المؤنثة. ووجد — مثلاً — أن زراعة برعم زهرى مذكر فى بيئة صناعية تحتوى على الأوكسين تؤدى إلى تحفيز البرعم إلى تكوين مبيض.

وقد وجد فى بعض الدراسات أن مستوى الأوكسين الطبيعى ازداد فى الظروف التى حفزت إنتاج الأزهار المؤنثة، هذا.. بينما انخفض مستوى الأوكسين فى دراسات أخرى. كما وجد أن معاملة قرع الكوسة بالإثيفون أدت إلى زيادة أعداد الأزهار المؤنثة وكان ذلك مصاحبًا بنقص فى نشاط الأوكسين الطبيعى. ولذا.. فإن دور الأوكسين فى هذا الشأن غير واضح تمامًا، وخاصة أن التركيزات العالية من الأوكسين تؤدى إلى زيادة انطلاق الإثيلين فى الأنسجة النباتية. كما أنه من المعروف أن الإثيلين يثبط انتقال الأوكسين فى النبات، ويسهم فى شلّ فاعلية الأوكسين بتجريده من مجموعة الكربوكسيل. هذا فضلاً عن صعوبة تقدير تركيز الأوكسين الطبيعى فى النباتات بدقة.

٤- حامض الأبسيسيك:

لا يعرف على وجه التحديد الدور الذى يلعبه حامض الأبسيسيك فى التأثير على التعبير الجنسى فى القرعيات فقد أدت معاملة نباتات الخيار الأنثوية بالحامض إلى زيادة ميلها نحو الأنثوية، بينما أدت معاملة نباتات الخيار وحيدة الجنس وحيدة المسكن إلى تحفيز إنتاجها للأزهار المذكرة. كما أن تركيز الحامض فى النباتات لم يكن مرتبطًا بحالة التعبير الجنسى فيها حيث اختلفت نتائج الدراسات التى أجريت فى هذا الشأن (عن Wien ١٩٩٧).

الخيار

تأثير الصنف على النسبة الجنسية

تختلف أصناف الخيار كثيرًا فى نسبة الأزهار المذكرة إلى المؤنثة، فبينما تكون هذه النسبة واسعة جدًّا، وتميل بشدة إلى جانب الأزهار المذكرة فى الأصناف الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن، نجد أنها تنقلب إلى أقل من ٠,١ : أكثر من ٠,٩ فى الأصناف الأنثوية بدرجة عالية، وإلى صفر : ١ فى الأصناف الأنثوية. كما تختلف الأصناف الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن فى مدى التبكير فى ظهور أول زهرة مؤنثة وعدد الأزهار المؤنثة التى تتكون عند العقد الأولى من الساق الرئيسى للنبات كما هو مبيّن فى جدول (١٦-١).

جدول (١٦-١): تباين أصناف الخيار وحيدة الجنس وحيدة المسكن فى موعد ظهور الأزهار المؤنثة ونسبتها (George ١٩٧١).

الصنف	عدد الأوراق حتى أول زهرة مؤنثة	عدد العقد التى ظهرت عندها أزهار مؤنثة من الـ ٢٥ عقدة الأولى	النسبة المئوية للعقد التى ظهرت عندها أزهار مؤنثة فى الـ ٢٥ عقدة الأولى
Marketer	٧,٨	٢,٨	١١,٢
Wisconsin	٩,٤	٢,٦	١٠,٤
Marketmore	١٢,٤	٢,٤	٩,٦
Ashley	١٢,٦	١,٤	٥,٦
Spot Free	١٩,٠	١,٦	٦,٤
Tokyo	أكثر من ٢٥,٠	صفر	صفر

تأثير الحرارة، والفترة الضوئية، وشدة الإضاءة

بينما لا تؤثر العوامل البيئية على طبيعة الإزهار فى أصناف الخيار الأنثوية، نجد أن لها تأثير كبير على النسبة الجنسية فى الأصناف الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن، فتزيد نسبة الأزهار المذكرة بارتفاع درجة الحرارة، وزيادة الفترة الضوئية (Nitsch وآخرون ١٩٥٢)، وشدة الإضاءة ومعدلات التسميد الآزوتى، والرطوبة الأرضية.

وتتباين أصناف الخيار فى مدى استجابتها لدرجة الحرارة. فيؤدى ارتفاع درجة الحرارة ليلاً إلى نقص فى تكوين الأزهار المؤنثة، بينما تزداد نسبتها فى حرارة ١٧ °م أو أقل، وتصاحب ذلك زيادة فى نسبة الأزهار المذكرة، إلا أن هذه النسبة تنخفض مرة أخرى فى درجات الحرارة العالية. فقد وجد Cantliffe (١٩٨١) أن نسبة الأزهار المذكرة فى خمسة أصناف من خيار التخليل كانت أعلى فى حرارة ١٦، و٢٢ °م عما فى حرارة ٢٦، أو ٣٠ °م. وكان تأثير درجة الحرارة أقوى من تأثير الفترة الضوئية وشدة الإضاءة.

ولقد لوحظ منذ سنوات عديدة مضت أن عدد الأزهار المذكرة يزداد فى الخيار خلال أيام الصيف الطويلة (فى ولاية ميرلاند الأمريكية)، بينما يزداد إنتاج الأزهار المؤنثة خلال أيام الشتاء القصيرة (عن Piringer ١٩٦٢). كذلك وجد Matsuo (١٩٦٨) أن عدد الأزهار المذكرة يزداد بزيادة الفترة الضوئية. وكانت فترة الظلام الحرجة لإنتاج الأزهار المؤنثة فى الصنف Higan-fushinari هى ٩ ساعات فى حرارة ٢٠-٣٣ °م. إلا أن Cantliffe (١٩٨١) لم يجد أى تأثير للفترة الضوئية، أو للتعرض للضوء الأحمر، أو للأشعة تحت الحمراء على النسبة الجنسية. كما لم يكن للفترة الضوئية أى تأثير على النسبة الجنسية فى ثلاث سلالات مذكرة androecious من الخيار، ولكن سلالة رابعة أصبحت وحيدة الجنس وحيدة المسكن تحت ظروف النهار القصير والحرارة المنخفضة (Rudich وآخرون ١٩٧٦).

كما تبين من دراسات Cantliffe (١٩٨١) على خمسة أصناف من خيار التخليل أن إنتاج الأزهار المذكرة ازداد فى إضاءة متوسطة شدتها ١٧٢٠٠ لكس Lux عما فى

الإضاءة الأشد (٢٥٨٠٠ لكس)، أو الأقل (٨٦٠٠ لكس). وبالمقارنة.. فقد ازداد إنتاج الأزهار المؤنثة فى كل من الإضاءة المتوسطة والقوية عما فى الإضاءة الضعيفة. ويستفاد من ذلك أن الإضاءة القوية يصاحبها إزهار جيد، كما تزداد فيها نسبة الأزهار المؤنثة.. ولم تتأثر سلالة التربية المؤنثة MSU 713-5 بشدة الإضاءة فلم تنتج أزهارًا مذكرة فى مستويات الإضاءة المختلفة، إلا أن الهجن الأنثوية تأثرت وأنتجت أزهارًا مذكرة.

وقد ازدادت نسبة الأزهار المؤنثة إلى المذكرة فى الخيار وحيد الجنس وحيد المسكن فى الحرارة العالية (٢٨°م نهارًا مع ٦ ساعات على ١٨°م + ٦ ساعات على ١٢°م ليلاً)، وارتبط ذلك إيجابيًّا مع حدوث زيادة فى مستوى كل من الإثيلين، وحامض الأبسيسك، والجلوكوز، والسكروز فى القمة النامية للنباتات. كذلك ازدادت نسبة الأزهار المؤنثة إلى المذكرة ومستوى كل من الإثيلين وحامض الأبسيسك بمعاملة النباتات بأى من الجلوكوز أو السكروز أو المانّوز. وبالمقارنة.. لم يكن للمعاملة بحامض الأبسيسك أى تأثير معنوى على تمثيل الإثيلين أو نسبة الأزهار المؤنثة إلى المذكرة (Miao وآخرون ٢٠١١).

تأثير التفاعل بين الفترة الضوئية ومنظمات النمو

أوضحت دراسات Jutamanee (١٩٩٤) على النسبة الجنسية فى ثلاثة أصناف من الخيار، ما يلى:

١- أدت الفترة الضوئية القصيرة (ثمانى ساعات) إلى زيادة عدد الأزهار المؤنثة، ونقص عدد الأزهار المذكرة فى أحد الأصناف (صنف Sagami-hanjiro) الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن. وأدت إزالة الأوراق إلى زيادة عدد الأزهار المذكرة فى النهار القصير. وبينما أدت المعاملة بالإثيفون إلى نقص عدد الأزهار المذكرة فى النهار القصير، فإنها كانت عدمية التأثير تحت ظروف الإضاءة المستمرة (لمدة ٢٤ ساعة يوميًّا) مع إزالة الأوراق. وأدت المعاملة بحامض الجبريلليك إلى زيادة عدد الأزهار المذكرة فى كل الظروف.

٢- وفى صنف آخر وحيد الجنس وحيد المسكن (هو Otone No. 1) أحدثت زيادة الفترة الضوئية إلى ٢٤ ساعة يوميًّا زيادة طفيفة فى عدد الأزهار المذكرة، بينما أدت إزالة

الأوراق إلى نقص الأزهار المؤنثة جوهريًّا تحت ظروف النهار الطويل. وأدت المعاملة بالإثيفون إلى نقص عدد الأزهار المذكرة وزيادة عدد الأزهار المؤنثة أيًّا كانت الفترة الضوئية، ولكن تأثير الإثيفون اختفى كلية عندما أزيلت أوراق النباتات. وأدت المعاملة باليونيكونازول Uniconazole إلى إحداث نقص واضح فى عدد الأزهار المذكرة وزيادة مقابلة فى عدد الأزهار المؤنثة فى كل الظروف، كذلك أدت المعاملة باليونيكونازول إلى إنتاج أزهار خنثى.

٣- أنتج الصنف الأنثوى Rensei أزهارًا مؤنثة أيًّا كانت الفترة الضوئية، ولم تتأثر تلك الخاصية بمعاملة إزالة الأوراق، ولكن أدى رش النباتات بنترات الفضة إلى إنتاجها لأزهار مذكرة، ونقص إنتاجها للأزهار المؤنثة فى ظروف النهار القصير، وكذلك فى ظروف النهار الطويل عندما أزيلت الأوراق.

تأثير المعاملات الزراعية

تتأثر النسبة الجنسية بعوامل أخرى، مثل: مستوى التسميد بالآزوت، وكثافة الزراعة، والأضرار التى تحدث للأوراق الفلقية خاصة عندما تكون الظروف البيئية غير مثالية للنمو. فقد وجد Tayel وآخرون (١٩٦٥) أن عدد الأزهار المؤنثة فى الصنف البلدى ازداد بزيادة معدلات التسميد الآزوتى، وبنقص كثافة الزراعة سواء تحقق ذلك بطريق تضييق المسافة بين النباتات، أم بزيادة عدد النباتات فى الجورة. وتجدر الملاحظة بأن زيادة العدد المطلق للأزهار المؤنثة تحت ظرف ما لا تعنى بالضرورة زيادة نسبتها، بل قد يكون العكس صحيحًا إذا صاحب الزيادة فى عدد الأزهار المؤنثة زيادة أكبر فى عدد الأزهار المذكرة.

كما قام Cantliffe & Omran (١٩٨١) بمحاكاة الأضرار التى يمكن أن تحدث للأوراق الفلقية، وتأثير ذلك على عدد الأزهار المذكرة والمؤنثة، فقاما بإزالة الأوراق الفلقية جزئيًّا أو كليًّا فى ٣ أصناف من خيار التخليل أثناء مراحل النمو الأولى للبادرات، ووجدا أن إزالة ١,٥-٢ ورقة فلقية تحت ظروف البيوت المحمية شتاء أدت

إلى ضعف نمو البادرات، وزيادة عدد الأزهار المذكرة، ونقص عدد الأزهار المؤنثة المتكونة عند العقد العشر الأولى فى الهجينين Pioneer، وPickmore. أما فى الربيع — حينما كانت الظروف أكثر ملاءمة للنمو النباتى — فإن إزالة الأوراق الفلقية أنقصت نمو البادرات فى البداية، إلا أنها كانت عديمة التأثير على النباتات الكبيرة، ولم تؤثر على النسبة الجنسية.

علاقة النسبة الجنسية بالمستوى الطبيعى للهرمونات فى النبات

تبين من دراسات Atsmon وآخرين (١٩٦٨)، و Hayashi وآخرين (١٩٧١) أن نباتات الخيار الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن monoecious وجذورها تحتوى على تركيزات أقل من الجبريللين عن النباتات الأنثوية gynoecious. كما وجد Hemphill وآخرون (١٩٧٢) أن بذور ونباتات الخيار الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن، والخيار الذى يحمل أزهارًا مذكرة، وأزهارًا خنثى (andromonoecious) تحتوى على كميات أعلى جوهريًّا من الجبريللين عما فى النباتات الأنثوية، وكان أقصى معدل لنشاط الجبريللينات فيهما عند بدء الإزهار. كما أدى "ارتباع" بذور السلالة الأنثوية إلى تكوينها لبعض الأزهار المذكرة، وصاحب ذلك زيادة فى نشاط الجبريللينات.

وقد أوضحت دراسات Rudich وآخرون (١٩٧٢ج) حدوث انخفاض فى مستويات الجبريللينات، وزيادة فى مثبطات الأوكسين بزيادة نسبة الأزهار المؤنثة فى الخيار، مع نقص فى المستوى الطبيعى لكل من الجبريللين والأوكسين فى النباتات التى عوملت بالإثيفون؛ الذى أحدث — كذلك — زيادة فى محتوى النباتات من حامض الأبسيسيك. وأدت معاملة جذور النباتات الأنثوية بالإثيفون إلى زيادة ميلها نحو تكوين الأزهار المؤنثة فى الظروف التى تحفز — طبيعيًّا — تكوينها للأزهار المذكرة. كذلك أدت المعاملة بالتركيزات العالية من غاز ثانى أكسيد الكربون — الذى يعرف بمضادته للإثيلين — إلى زيادة ميل النباتات المؤنثة إلى تكوين أزهار مذكرة.

كذلك أوضح Rudich وآخرون (١٩٧٦) أن السلالات الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن، وتلك التى تحمل أزهارًا مذكرة وأزهارًا خنثى — كان محتواها من الإثيلين أقل

مما فى السلالات الأنثوية، أو السلالات الخنثى hermaphroditic. وقد ظل إنتاج الإثيلين منخفضًا فى النباتات التى تنتج أزهارًا مذكرة، وأزهارًا خنثى طوال فترة التجربة التى دامت شهرًا. أما النباتات الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن.. فقط ظهرت بها قفزة فى إنتاج الإثيلين عند بدء ظهور الأزهار المؤنثة.

ومن المعلوم أن زيادة الفترة الضوئية تؤدى إلى ضعف النمو الخضرى فى الخيار، وأن نشاط الجبريللينات يكون أعلى فى النهار القصير، الذى يقل فيه — كذلك — إنتاج الإثيلين، مقارنة بما يحدث فى النهار الطويل. وعلى الرغم من ذلك فإن أعداد الأزهار المؤنثة التى ينتجها نبات الخيار يزداد فى جميع الأصناف فى النهار القصير عما فى النهار الطويل؛ الأمر الذى يعنى عدم وجود علاقة بين تأثيرات الفترة الضوئية على النسبة الجنسية وإنتاج وتأثيرات الجبريللين والإثيلين (عن Kanahama ١٩٩٤).

وتؤيد نتائج أبحاث Yin & Quinn (١٩٩٥) النظرية القائلة بأن هرمونًا واحدًا يتحكم فى النسبة الجنسية، وأن هذا الهرمون هو الإثيلين. فى تلك الدراسة عامل الباحثان نباتات الخيار بكل من حامض الجبريلليك ومنظم النمو بكلوبترازول Paclobutrazole (الذى يثبط تمثيل حامض الجبريلليك)، والإثيفون، ونترات الفضة (التى تثبط فعل الإثيلين). وأوضحت الدراسة أن حامض الجبريلليك يحفز تكوين الأزهار المذكرة فى ذات الوقت الذى يثبط فيه تكوين الأزهار المؤنثة، بينما يحفز الإثيلين تكوين الأزهار المؤنثة فى ذات الوقت الذى يثبط فيه تكوين الأزهار المذكرة، كما تبين أن الإثيلين كان أقوى تأثيرًا عن حامض الجبريلليك.

إن الإثيلين يلعب دورًا مفتاحيًّا فى تحديد الجنس فى أزهار الخيار، ونجد أن النموات الخضرية لنباتات الخيار الأنثوية gynoecious تُنتج قدرًا أكبر من الإثيلين عما تنتجه النباتات وحيدة الجنس وحيدة المسكن monoecious. وقد أوضحت الدراسات أن الجين CS-ACS2 — الذى يتحكم فى إنتاج الإنزيم 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase — يُنظم تمثيل الإثيلين فى البراعم الزهرية المفردة، ويصاحب تميز وتكوين الأزهار المؤنثة (Saito وآخرون ٢٠٠٧).

تأثير منظمات النمو على النسبة الجنسية

أولاً: الجبريللينات

أجرى Wittwer & Bukovac عام ١٩٥٧ أول دراسة عن تأثير المعاملة بالجبريللين على نباتات الخيار الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن، اتضح منها أن الجبريللين يؤخر ظهور أول زهرة مؤنثة على النبات. ثم أوضح الباحثان عام ١٩٥٨ أن المعاملة بالجبريللين تؤدى إلى زيادة تكوين الأزهار المذكرة فى الخيار، كما أجرى Peterson & Anhder عام ١٩٦٠ أول دراسة عن تأثير المعاملة بالجبريللين على نباتات الخيار الأنثوية، ووجدا أنها تدفع النباتات إلى تكوين أزهار مذكرة. وأعقب ذلك دراسة مماثلة أجراها Mitchell & Wittwer عام ١٩٦٢ على سلالة الخيار الأنثوية MSU 713-5، والتى تتضح نتائجها فى جدول (١٦-٢). وعندما درس Wittwer & Bukovac عام ١٩٦٢ تأثير المعاملة بتسعة أنواع من الجبريللينات — وهى التى كانت معروفة آنذاك — حصلا على النتائج المبينة فى جدول (١٦-٣) (عن Wittwer & Bukovac ١٩٦٢).

جدول (١٦-٢): تأثير معاملة سلالة الخيار الأنثوية MSU713-5 بالجبريللين[أ].

تركيز الجبريللين بالمولار	أول عقدة تظهر عندها زهرة مؤنثة بعد الأوراق الفلقية	عدد العقد التى ظهرت عندها	
		أزهار مؤنثة	أزهار مذكرة
صفر	١ أ	١٠ ج	صفر أ
10^{-7}	٢ أ	١٠ ج	صفر أ
10^{-6}	٢ أ	١٠ ج	صفر أ
10^{-5}	٢ أ	٩ ج	١ أ
10^{-4}	٦ ب	٥ ب	٤ ب
10^{-3}	١١ جـ	صفر أ	٩ ج

(أ) أخذت البيانات على العشر العقد الأولى فقط، وتختلف القيم التى تليها أحرف أبجدية مختلفة عن بعضها جوهريًّا على مستوى احتمال ٥٪، علمًا بأن المقارنات تكون بين قيم كل عامود على حدة.

كذلك وجد Globerson & Dagan (١٩٧٣) أن نقع بذور الخيار الأنثوى فى

محلول يتكون من GA_{4+7}، مع داى كلوروميثان dichloromethane بتركيز ٥٠٠٠ جزء فى المليون، لمدة ٢-٤ ساعات أدى إلى تكوين أزهار مذكرة فقط فى العقد الست إلى الثمانى الأولى، بينما لم تكن لمعاملة النقع فى الجبريللين فقط أى تأثير. وتؤدى المعاملة بالـ GA_{13} إلى زيادة نسبة الأزهار المذكرة أيضًا (عن Hemphill وآخرين ١٩٧٢). كما أوضح Rodriquez & Lambeth (١٩٧٢) أن حامض الجبريلليك GA_3 بتركيز ١٥٠٠ جزء فى المليون كان فعّالاً فى زيادة نسبة الأزهار المذكرة، إلا أن تأثيره كان أقوى عندما عوملت النباتات – فى الوقت ذاته – بأى من الماليك هيدرازيد Maleic Hydrazide، أو الـ SADH، أو الإثيفون Ethephon.

جدول (١٦-٣): تأثير تسعة أنواع من الجبريللين على تكوين الأزهار المذكرة فى العقد العشرين الأولى فى الخيار الأنثوى[أ]:

الجبريللين	عدد الأزهار المذكرة عندما كان تركيز الجبريللين (بالمولار)	
	٣×١٠^-٤	٣×١٠^-٣
A_1	١,٢ د هـ	٢,٤ د
A_2	٢,٥ ب جـ	٦,٩ ب
A_3	٢,٠ جـ د	٣,٣ د
A_4	٣,٥ أ ب	٧,٤ ب
A_5	٠,٧ هـ	١,٧ د هـ
A_6	٠,٩ د هـ	١,٩ د هـ
A_7	٤,٣ أ	٩,٢ أ
A_8	٠,٢ هـ	٠,٦ هـ و
A_9	٢,٦ ب جـ	٤,٩ جـ
المقارنة	صفر هـ	صفر و

(أ) تختلف القيم التى لا تشترك معًا فى أحد الأحرف الأبجدية عن بعضها جوهريًا على مستوى احتمال ٥٪، علمًا بأن المقارنات تكون بين قيم كل عامود على حدة.

ويمكن القول إجمالاً بأن معاملة نباتات الخيار بالجبريللين تؤدى إلى زيادة نسبة الأزهار المذكرة، ويكون تأثير المعاملة أقوى ما يمكن فى الأصناف الأنثوية، ثم فى

الأصناف التى تنتج أزهارًا مؤنثة وأزهارًا خنثى gynomonoecious، وبدرجة أقل فى الأصناف الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن (Bhattacharya & Tokumasu ١٩٧٠). ويمكن إكثار الأصناف الأنثوية برشها بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون من GA_{4+7} لتنتج أزهارًا مذكرة.

هذا.. وتعامل سلالات الخيار الأنثوية gynoecious — المستعملة فى برامج التربية — بالجبريللين حتى تنتج أزهارًا مذكرة؛ ليمكن إكثارها بالتلقيح الذاتى للسلالة ولتكون مصدرًا لحبوب اللقاح عند إنتاج الهجن. وتجرى المعاملة عندما تكون الورقة الحقيقية الأولى فى بداية تكوينها وبقطر ٢,٥ سم، ثم تكرر المعاملة ثلاث مرات فى الأسبوع. وأكثر المعاملات تأثيرًا هى خليط من GA_3، وGA_4، أو من GA_4 مع GA_7، بتركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون.

وعند إنتاج الهجن يرش خط واحد من السلالة المراد استعمالها كأب لكل ثلاثة خطوط من السلالة الأنثوية المراد استعمالها كأم، حيث تصبح الأزهار المذكرة المتكونة مصدرًا لحبوب اللقاح التى تلقح نباتات الأمهات غير المعاملة. ويعاب على هذه المعاملة أنها قد تؤثر سلبيًا على إنبات حبوب اللقاح، وبالتالى على إنتاج البذور (Weaver ١٩٧٢).

ثانيًا: الإثيفون

وجد McMurray & Miller (١٩٦٩) أن رش نباتات الخيار بالإثيفون (2-chloroethy) phosphonic acid أحدث زيادة جوهرية فى محصول ثلاثة أصناف وحيدة الجنس وحيدة المسكن من خيار التخليل، ووصل عدد العقد التى حملت أزهارًا مؤنثة بصورة متتابعة إلى ١٩ عقدة فى الصنف SC 23. وكانت أكثر التركيزات المستعملة فاعلية هى ١٢٠، و١٨٠، و٢٤٠ جزءًا فى المليون مع الرش مرة واحدة أو أكثر من مرة. ولم تكن هذه المعاملة مصاحبة بأى نقص فى طول السلاميات.

كذلك وجد Rudich وآخرون (١٩٧٠ج) أن المعاملة بالإثيفون أدت إلى دفع نباتات الخيار الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن إلى تكوين أزهار مؤنثة فقط لمدة ٢–٣ أسابيع فى

بداية مرحلة الإزهار. وكانت أفضل معاملة هى رش النباتات مرتين فى مرحلتى نمو الورقة الحقيقية الثانية والرابعة بتركيز ٢٥٠، أو ٥٠٠ جزء فى المليون. هذا.. بينما أدى الرش بتركيز ١٠٠٠ جزء فى المليون إلى تثبيط نمو النباتات.

وتبين من دراسات Iwahori وآخرون (١٩٦٩، و١٩٧٠) أن نسبة الأزهار المؤنثة فى نباتات الخيار الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن ازدادت بالرش بتركيز ٥٠ أو ١٠٠ جزء فى المليون من الإثيفون فى مرحلة نمو الورقة الحقيقية الأولى أو الثالثة، بينما لم يكن للمعاملة فى مرحلة نمو الأوراق الفلقية أى تأثير، كما تأخرت العقدة التى ظهرت عندها أول زهرة مؤنثة، مع تأخير موعد المعاملة – كذلك ألغت المعاملة بتركيز ١٠٠ أو ٢٥٠ جزءًا فى المليون فى مرحلة نمو الورقة الحقيقية الأولى أى ظهور للأزهار المذكرة فى النباتات المؤنثة بدرجة عالية.

وتُحدِث المعاملة بالإثيفون عن طريق التربة تأثيرات مماثلة؛ فقد وجد Cantliffe & Robinson (١٩٧١) أن معاملة النباتات النامية فى الأصص بطريق التربة أدت إلى دفع النباتات إلى تكوين أزهار مؤنثة لمدة أربع أسابيع. وقد صاحب المعاملة بتركيزات ١٢٥، و٢٥٠، و٥٠٠ جزء فى المليون نقص متزايد فى قوة نمو النباتات إلى أن توقف نمو الأوراق فى المعاملة الأخيرة، لكنها أعطت أعلى نسبة من الأزهار المؤنثة.

وتبيّن من دراسات Augustine وآخرين (١٩٧٣) أن معاملة نباتات الخيار التى تنتج أزهارًا مذكرة وأزهارًا خنثى andromonecious بالإثيفون تحولها إلى نباتات وحيدة الجنس وحيدة المسكن monoecious. ويتوقف مدى التحول على التركيز المستعمل، ومرحلة النمو التى تجرى عندها المعاملة. وكانت أفضل معاملة تحت ظروف الصوبات هى الرش بتركيز ٥٠ جزءًا فى المليون عند مرحلة نمو الورقة الحقيقية الثالثة أو الرابعة، وهى المعاملة التى لم يصاحبها نقص ظاهرى فى النمو.

ويتوقف مدى فاعلية الإثيفون فى التأثير على النمو النباتى على موعد المعاملة، ويتضح ذلك من دراسات Lower وآخرين (١٩٧٠) التى قارنوا فيها المعاملة بتركيز ١٢٠ جزء فى

المليون فى مراحل نمو الورقة الحقيقية الأولى، والثانية، والثالثة، والرابعة، والسادسة، والثامنة، والعاشرة، والثانية عشرة مع تكرار الرش – مرة أخرى – بعد ٤٨ ساعة فى كل معاملة. وقد أحدثت جميع المعاملات زيادة معنوية فى عدد ونسبة الأزهار المؤنثة. ولم يُحدِث الرش فى المراحل المبكرة من النمو سوى توقف بسيط فى النمو، إلا أن الرش فى مراحل النمو التالية أدى إلى نقص كبير فى معدل النمو النباتى، وسقوط البراعم الزهرية والأزهار المؤنثة المتفتحة التى كانت على النباتات وقت المعاملة، واستمر هذا التأثير لمدة أسبوع، ثم عادت النباتات إلى حالتها الطبيعية وأزهرت مرة أخرى بعد ١٥– ١٨ يومًا من المعاملة.

ويختلف مدى التأثير الذى تُحدثه المعاملة بالإثيفون باختلاف الأصناف. يتضح ذلك مع دراسات George (١٩٧١) التى قام فيها بمقارنة تأثير الإثيفون بتركيز ٥٠٠ جزء فى المليون على الإزهار والنسبة الجنسية فى ستة أصناف من الخيار، والمبينة نتائجها فى جدول (١٦–٤).

جدول (١٦–٤): تأثير المعاملة بالإثيفون بتركيز ٥٠٠ جزء فى المليون على الإزهار والنسبة الجنسية فى ستة أصناف من الخيار.

الصنف	عدد العقد الخالية من الأزهار	عدد العقد التى تكونت فيها أزهار مؤنثة	أول عقدة ظهرت فيها زهرة مذكرة	عدد العقد التى لم تتكون فيها أزهار مذكرة
Marketer	٨,٦	١٦,٤	أكثر من ٢٥	صفر
Wisconsin	٢,٠	١٥,٨	١٨,٨	٧,٢
Ashley	٦,٤	٨,٠	١٥,٤	١٠,٦
Spot Free	٧,٠	٣,٦	١١,٦	١٤,٤
Marketmore	٨,٦	١,٨	١٠,٨	١٤,٦
Tokyo	٩,٦	٠,٢	١٠,٨	١٥,٢

هذا.. ويستعمل الإثيفون لزيادة إنتاج الأزهار المؤنثة فى هجن خيار التخليل، وقد سجل لهذا الغرض – فى الولايات المتحدة – المركب فلوريل Florel الذى يحتوى على ٣,٩٪ مادة فعالة، ويستعمل بمعدل ٢,٨ لترًا فى ٤٥٠– ١١٠٠ لتر من الماء للهكتار.

ترش النباتات بالمحلول جيدًا وهى فى مرحلة تكوين الورقة الحقيقية الثانية، ويكرر الرش إن لم يكن إنبات البذور متجانسًا.

ويستفاد من هذه المعاملة — كذلك — فى إنتاج بذور هجن خيار التخليل لأنها تؤدى إلى زيادة إنتاج الأزهار المؤنثة؛ وبالتالى زيادة محصول البذور. ويراعى فى حالة إجراء هذه المعاملة أن تكون زراعة السلالة الأب (مصدر حبوب اللقاح) مبكرة عن موعد زراعة السلالة الأم بنحو أسبوع، نظرًا لأن المعاملة تؤدى إلى تبكير الإزهار بنحو سبعة أيام (عن Read ١٩٨٢).

ثالثا: منظمات النمو الأخرى

من أهم منظمات النمو الأخرى المؤثرة على النسبة الجنسية فى الخيار، وتأثيراتها، ما يلى:

١- أدت المعاملة بالأوكسينات إلى تقصير فترة النمو الأولى التى تقتصر على إنتاج الأزهار المذكرة فقط، وإلى إسراع وصول النباتات إلى فترة النمو المختلط التى تنتج فيها أزهارًا مذكرة وأخرى مؤنثة.

٢- أدت المعاملة بمنظم النمو TIBA (أو 2,3,5-triiodobenzoic acid) إلى تحويل نباتات الخيار الوحيد الجنس الوحيد المسكن إلى نباتات مذكرة بصفة أساسية androecious، وبالمقارنة.. فقد أدت المعاملةبالإثيفون منفردًا، أو مع TIBA إلى جعل النباتات مؤنثة بصفة أساسية (Freytag ١٩٧٠).

٣- أدت معاملة نباتات الخيار الأنثوية بمنظم النمو MCEB (أو -5-methyl-7 chloro-4-ethoxycarbonyl methoxy-2,1,3-benzothiazole)، بتركيز ٧٥ جزءًا فى المليون، إلى إنتاجها لبعض الأزهار المذكرة، وتلاشى هذا التأثير عندما عوملت النباتات بالإثيفون أيضًا، ولكنه ظهر مرة أخرى عندما استعمل تركيز ١٥٠ جزء فى المليون من الـ MCEB مع الإثيفون (Augustine وآخرون ١٩٧٣).

٤- يعتبر منظم النمو AVG (أو Aminoethoxyvinylglycine) من مضادات

إنتاج الإثيلين، وقد أدى إلى تكوين أزهار مذكرة فى سلالات الخيار الأنثوية عندما استعمل رشًا بتركيز ٥٠ جزءًا فى المليون.

٥-أدت معاملة نباتات الخيار الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن بالماليك هيدرازيد MH (وهو 1,2-dihydropyradizine 3,6-dione)، أو بالـ SADH (وهو Succinic acid-2,2-dimethylhydrazide) إلى إحداث زيادة فى نسبة الأزهار المؤنثة، مع بطء فى النمو (Rodriquez & Lambeth ١٩٧٢).

٦-لم يكن لأى من مثبطات النمو Alar، أو CCC، أو Phosphon D، أو ABA تأثير على النسبة الجنسية فى نباتات الخيار الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن (Iwahori وآخرون ١٩٧٠).

٧-أدت إضافة AMAB (أو Allyl trimethyl ammonium bromide) إلى المحاليل المغذية فى المزارع المائية إلى التبكير بظهور الأزهار المؤنثة، وزيادة نسبتها فى نباتات الخيار الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن (عن Wittwer & Bukovac ١٩٦٢).

تأثير مركبات الفضة على النسبة الجنسية

على الرغم من أن نترات الفضة $AgNO_3$ لا تعد من منظمات النمو، إلا أنها تمنع إنتاج الإثيلين فى النباتات، وتؤدى المعاملة بها إلى إنتاج أزهار مذكرة بنباتات الخيار الأنثوية، ويعد تأثيرها أقوى من تأثير المعاملة بالـ $GA_{4/7}$ (Owens ١٩٨٠).

وقد أدت معاملة الخيار الأنثوى بنترات الفضة بتركيز ٣٠٠ جزء فى المليون مرتان رشًا — مع بداية الرش فى مرحلة الورقة الأولى — إلى إنتاج النباتات للأزهار المذكرة بأعداد كبيرة، وعمومًا فإن عدد العقد التى تحمل أزهارًا مذكرة يزداد مع الرش ٢-٣ مرات بنترات الفضة بتركيز ٢٠٠-٥٠٠ جزء فى المليون ابتداء من مرحلة الورقة الحقيقية الأولى وعلى فترات أسبوعية (Kasrawi ١٩٨٨).

كذلك تعد ثيوكبريتات الفضة silver thiosulfate $[Ag(S_2O_3)_2]$ من مضادات إنتاج الإثيلين، وتؤدى المعاملة بها إلى زيادة إنتاج الأزهار المذكرة على حساب الأزهار المؤنثة.

وتتميز كل من نترات الفضة وثيوكبريتات الفضة عن الجبريللينات بكونهما أرخص من الجبريللينات، وأكثر ثباتًا عنها فى المحاليل، وأكثر فاعلية عنها فى تحويل السلالات الأنثوية إلى إنتاج الأزهار المذكرة. ولكن هذه المركبات قد تكون سامة للنبات إذا استعملت بتركيزات عالية جدًّا، ولكنها ليست سامة فى التركيزات المعتدلة، فضلاً عن أنها لا تؤدى إلى استطالة سلاميات النبات مثلما تؤدى المعاملة بالجبريللينات.

الكوسة

تأثير العوامل البيئية والفترة الضوئية

تتأثر النسبة الجنسية فى النوع *C. pepo* بكل من درجة الحرارة والفترة الضوئية. وفى دراسة أجريت على الكوسة Acorn (وهى طراز من قرع الشتاء winter squash ينتمى للنوع *C. pepo*) وجد تدرجًا فى ظهور الأنواع المختلفة من الأزهار — بدءًا من العقد الأولى للنبات — كما يلى. أزهار مذكرة غير مكتملة التكوين، ثم أزهار مذكرة طبيعية، ثم أزهار مؤنثة طبيعية، ثم أزهار مذكرة "مثبَّطة" inhibited، ثم أزهار مؤنثة "عملاقة" giant، ثم أزهار مؤنثة بكرية؛ أى أن التطور كان فى اتجاه تكوين الأزهار المؤنثة. وقد أدت الحرارة العالية والفترة الضوئية الطويلة إلى تأخير وصول النبات إلى مرحلة تكوين الأزهار المؤنثة، بينما أسرعت الحرارة المنخفضة والفترة الضوئية القصيرة الوصول إليها، وظهر ذلك بتكوين الأزهار المؤنثة فى عقد أكثر انخفاضًا على ساق النبات (Nitsch وآخرون ١٩٥٢).

ولم يجد NeSmith & Hoogenboom (١٩٩٤) اختلافات جوهرية بين خمسة أصناف من الكوسة فى موعد بداية تكوين الأزهار المذكرة، ولكنها تباينت كثيرًا فى موعد بداية تكوينها للأزهار المؤنثة، كما وجدت اختلافات بين الأصناف فى عدد الوحدات الحرارية heat units التى لزمت لتكوين الأزهار المذكرة والمؤنثة. وتبعًا لهذه الدراسة (NeSmith وآخرون ١٩٩٤).. فإن عدد الأزهار المذكرة والمؤنثة التى كونتها تلك الأصناف تباين بشدة وتأثر بموعد الزراعة.

وتؤدى الحرارة المنخفضة فى بداية الربيع إلى اتجاه الكوسة إلى تكوين الأزهار المؤنثة مبكرًا مع حدوث نقص حاد فى نسبة الأزهار المذكرة؛ الأمر الذى يؤدى إلى فشل

عقد الثمار، أو تكوين ثمار مشوهة تكون مستدقة بشدة بسبب سوء التلقيح.

وقد تؤدى هذه الحالة إلى تحول الثمار الصغيرة إلى اللون البنى وجفافها بدءًا من الطرف الزهرى.

تأثير منظمات النمو والمعاملات الكيميائية

تتأثر النسبة الجنسية فى الكوسة بمنظمات النمو بالطريقة ذات التى أسلفنا بيانها فى الخيار. فقد وجد Abdel-Gawad & Ketellappert (١٩٦٩) أن معاملة نباتات الكوسة — وهى بعمر أسبوع — بالإثيفون بتركيز ٥٠، أو ١٠٠، أو ٢٥٠ جزء فى المليون أدت إلى ظهور الأزهار المؤنثة فى العقدة الأولى، بالمقارنة بالعقدة التاسعة فى نباتات المقارنة (الشاهد). كما وجد Rudich وآخرون (١٩٧٠) أن رش النباتات بالإثيفون، بتركيز ٢٥٠، أو ٥٠٠ جزء فى المليون، مرتين فى مرحلتى نمو الورقة الحقيقية الأولى والثالثة أدى إلى إنتاج أزهار مؤنثة فقط خلال الأسبوعين إلى الثلاثة أسابيع الأولى من بداية الإزهار. كذلك أدت معاملة النباتات بتركيز ٢٥ أو ٥٠ جزء فى المليون من حامض الأبسيسك abscisic acid، وهى بعمر ١٨ يومًا، ثم كل ٤ أيام بعد ذلك إلى زيادة عدد الأزهار المؤنثة المتكونة.

كما وجد Atta-Aly (١٩٩٨) أن نقع بذور الكوسة الإسكندرانى فى محاليل مائية مهواة من الكوبالت بتركيز ٠,٢٥، أو ٠,٥٠، أو جزء واحد فى المليون لمدة ٤٨ ساعة قبل زراعتها أدى إلى زيادة سرعة النمو النباتى، وأعداد الأزهار المؤنثة، ومحصول الثمار عما فى البذور التى نقعت فى الماء، أو فى محلول ٠,٥ مللى مولار من aminooxyacetic acid (اختصارًا: AOA)، وكان تأثير معاملة النقع فى محاليل الكوبالت مصاحبًا بزيادة معنوية فى مستوى الإثيلين فى النبات بداية من مرحلة البادرة (١٤ يومًا بعد الزراعة)، وإلى بداية تميز الأزهار (٣٠ يومًا بعد الزراعة). وعلى النقيض من ذلك، فقد أدى رش نباتات الكوسة بالـ AOA قبل أو أثناء التهيئة للإزهار إلى وقف تأثيرات نقع البذور فى محلول الكوبالت. وقد بلغت الزيادة فى المحصول من جراء نقع البذور فى محاليل الكوبالت فقط ٢٦٪، و٤٠٪، و٦٥٪ عندما كان تركيز

الكوبالت ٠,٢٥، و٠,٥٠، و١,٠٠ جزء فى المليون، على التوالى.

ويستفاد من خاصية تأثير المعاملة بالإثيفون على النسبة الجنسية فى إنتاج هجن الكوسة دونما حاجة إلى عملية إزالة الأزهار المذكرة يدويًا من خطوط الأمهات. وعمليًا تزرع ٣- ٤ خطوط من السلالة المستعملة كأم بالتبادل مع السلالة المستعملة كأب مع رش نباتات سلالة الأم مرتين بالإثيفون بتركيز ٤٠٠- ٦٠٠ جزء فى المليون، حيث تمنع هذه المعاملة سلالة الأم من تكوين أزهار مذكرة. وبعد اكتمال عقد الثمار فإن نباتات سلالة الأب يتم إزالتها والتخلص منها خارج الحقل لكى لا تختلط ثمارها بالثمار التى تكونها سلالة الأم والتى تحتوى على البذرة الهجين.

زيادة الأزهار المؤنثة فى القرع العسلى بالمعاملة بالإثيفون

بينما حَفَّز رش نباتات *C. pepo* (القرع العسلى) بالإثيفون بتركيز ١٠٠ أو ٣٠٠ جزء فى المليون فى مرحلة تكوين الورقة الحقيقية الثانية تكوين الأزهار المؤنثة فى الحرارة المعتدلة (٢٠/٣٢°م)، فإن تلك المعاملة كانت عديمة التأثير فى الحرارة المناسبة (١٥/٢٠°م نهار/ليل)؛ حيث كونت ١٧٪ من الـ ١٥ عقدة الأولى براعم زهرية مؤنثة — تفتحت جميعها — فى نباتات الكنترول التى لم تُعامل بالإثيفون، وأدت معاملة الإثيفون بتركيز ٣٠٠ جزء فى المليون إلى زيادة تلك النسبة إلى ٣٧٪. أما فى حرارة عالية (٢٧/٣٢°م) فإن ٣٪ فقط من العقد فى نباتات الكنترول كونت براعم زهرية مؤنثة وتفتح منها ٢٪ فقط، بينما لم تؤثر المعاملة بالإثيفون فى زيادة تلك النسبة جوهريًا (Wien ٢٠٠٦).

تأثيرات المعاملات البيولوجية

أدت معاملة نباتات الكوسة الإسكندرانى بمستخلص الثوم — بمعدل ٠,٢٥ جم وزنًا جافًا لكل نبات عن طريق التربة إلى جانب النباتات — إلى زيادة عدد الأزهار المذكرة والمؤنثة، ونسبة الأزهار المؤنثة، والمحصول المبكر، والمحصول الكلى (Helmy ١٩٩٢).

الكنتالوب

مستوى الهرمونات الطبيعية وعلاقته بالنسبة الجنسية

وجد Hemphill وآخرون (١٩٧٢) أن سلالات الكنتالوب وحيدة الجنس وحيدة المسكن Monoecious، وتلك التى تحتوى على أزهار مذكرة وأزهار خنثى andromonoecious يقل فيها مستوى الجبريللين فى البذور وفى النباتات عما فى السلالات الخنثى Hermaphroditic، والمؤنثة Gynoecious.

تأثير معاملات منظمات النمو على النسبة الجنسية

أولاً: الإثيفون

تؤدى المعاملة بالإثيفون – دائمًا – إلى زيادة نسبة الأزهار المؤنثة؛ فقد وجد Karchi (١٩٧٠) أن معاملة نباتات الكنتالوب بالإثيفون بتركيزات تراوحت بين ١٥٠ و٦٠٠ جزء فى المليون أدت إلى زيادة نسبة الأزهار المؤنثة، ونقص نسبة الأزهار المذكرة. كما أدت المعاملة فى طور الورقة الحقيقية الثانية إلى إنتاج أزهار مؤنثة فى كل من الأصناف الخنثى، والأصناف التى تحمل أزهارًا مذكرة وأزهارًا خنثى، وإلى إنتاج أزهار خنثى فى الأصناف وحيدة الجنس وحيدة المسكن.

كما وجد Loy (١٩٧١) أن المعاملة بالإثيفون بتركيز ٢٤٠ أو ٤٨٠ جزء فى المليون فى الصوبة، أو بتركيز ٥٠٠ جزء فى المليون فى الحقل منعت تكوين الأزهار المذكرة، وشجعت تكوين الأزهار المؤنثة فقط لفترة طويلة. كما أدت معاملة بادرات الكنتالوب بالإثيفون عند مرحلة تكوين الورقة الحقيقية الأولى أو الثالثة بتركيز ٥٠٠ جزء فى المليون إلى تكوين أزهار خنثى عند العقد السفلى، وعلى الفروع الجانبية القصيرة التى لا تحمل – عادة – مثل هذه الأزهار (عن Weaver ١٩٧٢). وتمشيًّا مع ما سبق بيانه.. توصل Sulikeri& Bhandary (١٩٧٣) إلى أن معاملة نباتات الكنتالوب بتركيز ٢٥٠ جزء فى المليون – وهى فى طور البادرة – حورت النسبة الجنسية من ٥٩,٥ مذكر: ١ مؤنث إلى ٢٢,٢٥ مؤنث: ١ مذكر.

كذلك أدت معاملة نباتات الكنتالوب الـ gynomonoecious (أى التى تنتج أزهارًا مؤنثة وأزهارًا خنثى) بالإثيفون بتركيز ٤٨٠ جزءًا فى المليون فى مرحلة الورقة الحقيقية الرابعة، ثم بعد أسبوع آخر إلى زيادة الفترة التى ظهرت فيها أزهارًا مؤنثة فقط إلى ١٦– ٢٠ يومًا، بينما أدت المعاملة بمضاد الإثيلين aminoethoxyvinylglycine بتركيز ٥٠–١٠٠ جزء فى المليون لمدة ثلاثة أسابيع متتالية إلى تحفيز إنتاج الأزهار الخنثى مع إنتاج بعض الأزهار المذكرة فى النباتات الـ gynomonoecious (Loy ١٩٧٨).

ثانيًا: الجبريللين

تمكن Rudich وآخرون (١٩٧٢أ) من زيادة نسبة الأزهار المذكرة فى أحد أصناف الكنتالوب التى تنتج أزهارًا مذكرة، وأزهارًا خنثى (وهو الصنف Ananas PMR) بمعاملة النباتات بالجبريللين. إلا أن Hemphill وآخرين (١٩٧٢) لم يتمكنوا من دفع السلالات الأنثوية إلى تكوين أزهار مذكرة بهذه المعاملة.

ثالثًا: الألار

وجد Rudich وآخرون (١٩٧٢ب) أن معاملة نباتات الكنتالوب من صنف Ananas PMR (الذى ينتج أزهارًا مذكرة وأزهارًا خنثى) بالألار أدت إلى زيادة نسبة الأزهار الخنثى. وقد صاحب ذلك نقصًا فى محتوى الثمار من الجبريللين بدأ بعد ٢–٧ أيام من المعاملة، ثم تلاشى فى خلال أسبوعين، وكان ذلك قبل زوال تأثير المعاملة على الإزهار؛ مما يعنى أن الألار أثر على النبات من خلال تأثيره على مستوى الجبريللين فيه.

وقد كانت أكثر معاملات الألار (أو SADH) تأثيرًا هى الجمع بين نقع البذور لمدة ٢٤ ساعة فى محلول منظم النمو، ورش النباتات ثلاث مرات بمنظم النمو بتركيز ٠,٥٪، حيث غيرت نسبة الأزهار المؤنثة إلى الأزهار المذكرة إلى ١ : ١,٤، مقارنة بنسبة قدرها ١ : ٦,٢ فى نباتات الكنترول غير المعاملة، ولكن المعاملة أدت كذلك إلى جعل النمو النباتى قزميًا.

تأثير الحرارة والفترة الضوئية على محاصيل الخضر

الطماطم

التأثير العام لدرجة الحرارة

تعد الطماطم من نباتات الجو الدافئ، فهى تحتاج إلى موسم نمو دافئ طويل خالٍ من الصقيع. ويتراوح المجال الحرارى الملائم - بصورة عامة - بين ١٨ و٢٩°م، كما تتجمد النباتات فى حرارة أقل من الصفر المئوى، ولا يحدث نمو يذكر، فى حرارة تقل عن ١٠°م. ومع ارتفاع درجة الحرارة عن ذلك يزداد معدل النمو تدريجيًّا حتى تصل إلى ٣٠°م، حيث يؤدى تعريض النباتات لهذه الدرجة لفترة طويلة إلى جعل الأوراق صغيرة وباهتة اللون، وجعل السيقان رهيفة. وعلى العكس من ذلك.. نجد الأوراق عريضة، ولونها أخضر داكن، والسيقان سميكة فى درجات الحرارة المنخفضة نسبيًّا، والتى تقل عن ١٥°م. ولا يحدث نمو يذكر فى درجة حرارة ثابتة (ليلاً ونهارًا)، وتزيد عن ٣٥°م.

ومما تجدر ملاحظته أن تفاوت درجات الحرارة بين الليل والنهار يناسب الطماطم، فقد وجد أن النمو النباتى كان أفضل فى حرارة ٢٣°م نهارًا و ١٧°م ليلاً. وربما يرجع ذلك إلى إسهام الحرارة المنخفضة ليلاً فى تقليل كمية الغذاء المفقود بالتنفس أثناء الليل.

الاحتياجات الحرارية لمختلف مراحل النمو

لكل مرحلة من مراحل نمو نبات الطماطم درجة الحرارة المثلى لها، وقد تختلف هذه الدرجة ليلاً عنها نهارًا كما هو مبين فى جدول (١٦-٥) (عن Aung ١٩٧٩). ومع أن توفير درجات الحرارة المبينة فى الجدول فى مراحل النمو المختلفة يعد أمرًا مثاليًّا، إلا أنه نادرًا ما يتحقق إلا فى البيوت المحمية المزودة بوسائل التبريد والتدفئة. وعمومًا.. فإن الدرجات المبينة فى الجدول ليست قاطعة فيما يتعلق بالاحتياجات الحرارية للطماطم، وذلك لأن هذه الاحتياجات تتأثر كثيرًا بشدة الإضاءة؛ فتقل درجة

الحرارة المناسبة لأية مرحلة من النمو مع انخفاض شدة الإضاءة. كما أن الأصناف تختلف فى استجابتها لدرجة الحرارة.

جدول (١٦-٥): درجات الحرارة المثلى لمختلف مراحل نمو وتطور نبات الطماطم.

المرحلة	درجة الحرارة المثلى (°م)
إنبات البذور	٢٦ - ٣٢
نمو الأوراق الفلقية إلى أكبر حجم لها	١٦ - ٢٠
نمو البادرات	٢٥ - ٢٦
استطالة الساق	٣٠ نهارًا/ ١٧ ليلاً، ٢٧ نهارًا/١٩ - ٢٠ ليلاً
النمو الخضرى	٣٥ نهارًا/ ١٨ ليلاً، ٢٦ نهارًا/ ٢٢ ليلاً
نمو الجذور: البادرات	٢٦ - ٣٢
النبات الأكبر	٢٧ نهارًا/١٣ - ٢٢ ليلاً
تكوين مبادئ الأوراق	٢٥
تكوين الأزهار	١٣ - ١٤
تفتح الأزهار	١٣ - ١٤، ٢٦ نهارًا/ ٢٢ ليلاً
تكوين حبوب اللقاح	٢٠ - ٢٦
إنبات حبوب اللقاح	٢٢ - ٢٧
استطالة الأنابيب اللقاحية	٢٢ - ٢٧
بروز الميسم من المخروط السدائى (غير مرغوب)	٣٠ - ٣٥
عقد الثمار	١٨ - ٢٠
نضج الثمار	٢٤ - ٢٨

أهمية خفض حرارة التربة فى منطقة نمو الجذور

أحدث غرس شتلة الطماطم حتى عمق ١٥ سم زيادة جوهرية فى المحصول الصالح للتسويق، وذلك مقارنة بالمحصول فى حالة الغرس حتى عمق ٧,٥ سم؛ ورافق ذلك زيادة جوهرية فى الكتلة النباتية الجافة فى حالة الغرس العميق. كذلك وجد أن الرى بالتنقيط فى الصباح (٧,٣٠ صباحًا) لمدة ٢/١ ٢ ساعة أدى إلى زيادة المحصول المبكر والكلى ومتوسط وزن الثمرة، مقارنة بما حدث عند بدء الرى فى الساعة ٢,٣٠ بعد الظهر. كما كانت حرارة التربة الساعة ٤,٠٠ بعد الظهر أقل جوهريًا على عمق ١٥ سم

منها على عمق ٧,٥ سم. كذلك ساعد استخدام الغطاء البلاستيكى الأسود فى خفض حرارة التربة. ويُستدل مما تقدم أن كل العوامل التى تُساعد فى خفض حرارة التربة فى منطقة نمو الجذور (الشتل حتى عمق ١٥ سم، والرى صباحًا، واستعمال الغطاء البلاستيكى الأبيض للتربة) تؤدى إلى زيادة المحصول المبكر والكلى ومتوسط وزن الثمرة فى الطماطم (Hanna وآخرون ١٩٩٧).

البطاطس

تعتبر البطاطس من النباتات التى يناسبها الجو المعتدل؛ فهى لا تتحمل الصقيع، ولا تنمو جيدًا فى الجو الشديد البرودة أو الشديدة الحرارة.

تأثير درجة الحرارة

تناسب نبات البطاطس حرارة تميل إلى الارتفاع ونهار طويل نسبيًّا فى بداية حياته، وحرارة تميل إلى الانخفاض، ونهار قصير نسبيًّا فى النصف الثانى من حياته. وتعمل الظروف الأولى على تشجيع تكوين نمو خضرى قوى فى بداية حياة النبات قبل أن يبدأ فى وضع الدرنات، ثم تعمل الفترة الضوئية القصيرة على تحفيز وضع الدرنات، ويساعد انخفاض الحرارة قليلاً على زيادتها فى الحجم، وزيادة المحصول تبعًا لذلك.

وبالمقارنة.. فإن الحرارة المرتفعة فى النصف الثانى من حياة النبات تثبط تكوين الدرنات، ليس فقط فى البطاطس، ولكن كذلك فى عديدٍ من الأنواع الأخرى التى تكوّن درنات من الجنس *Solanum*. ويمكن القول — بصورة عامة — أن الحرارة التى تناسب النمو الخضرى تزيد على ٢٠ °م، بينما تلك التى تناسب النمو الدرنى تقل عن ٢٠ °م (Cao & Tibbitts ١٩٩٤).

ترجع أهمية الحرارة المنخفضة قليلاً فى النصف الثانى من حياة النبات إلى أنها تؤدى إلى خفض معدل التنفس فى جميع أجزاء النبات؛ فيزيد بالتالى فائض المواد الغذائية الذى يخزن فى الدرنات. ولدرجة الحرارة ليلاً أهمية أكبر من درجة الحرارة نهارًا فى هذا الشأن؛ لأن حرارة الليل المنخفضة لا تؤثر على معدل التنفس، بينما تؤثر

حرارة النهار المنخفضة – إلى جانب ذلك – على معدل البناء الضوئى الذى ينخفض أيضًا بانخفاض درجة الحرارة. وعلى الرغم من ذلك.. فإن انخفاض درجة الحرارة نهارًا يعد أفضل من ارتفاعها؛ لأن ارتفاعها كثيرًا يجعل معدل الهدم بالتنفس أكبر من معدل البناء بالتمثيل؛ فتكون المحصلة سلبية.

ويؤدى الارتفاع الكبير فى درجة حرارة التربة إلى تحليق ساق النبات عند مكان تلامسه مع التربة. وتبدأ الأعراض بظهور لونٍ رصاصيٍ ضاربٍ إلى البياض فى منطقة الإصابة، ثم يتحول تدريجيًا إلى اللون البنى الفاتح. وقد تؤدى الإصابة الثانوية بالكائنات الدقيقة إلى تلون النسيج المصاب باللون البنى الداكن، وقد يتعفن نتيجة لذلك. تشتد الإصابة فى المراحل الأولى من حياة النبات عندما تكون النموات الخضرية صغيرة، ولا تكفى لتظليل التربة عند قاعدة النبات.

وعلى الرغم من أن نباتات البطاطس تجود فى الجو المائل إلى البرودة، إلا أنها تتضرر من البرودة الشديدة؛ فيؤدى تعرض النباتات لحرارة تزيد عن درجة التجمد وتقل عن ٤°م لعدة أيام قبل الحصاد إلى إصابة الدرنات بأضرار البرودة، والتى من أهمها ما يلى:

١–يزيد محتوى الدرنات من السكريات المختزلة، والتى تعد السبب الرئيسى لتلون الشبس والبطاطس المحمرة باللون الداكن عند القلى.

٢–يحدث تحلل شبكى داخلى Internal Net Necrosis نتيجة لتحلل خلايا اللحاء فقط دون باقى أنسجة الدرنة؛ نظرًا لكونها أكثر حساسيةً للحرارة المنخفضة من غيرها. وقد يكون نسيج اللحاء المتأثر متناثرًا فى جميع أنحاء الدرنة، أو متركزًا فى الجانب المعرض للحرارة المنخفضة، أو فى منطقة الحزم الوعائية. وتتشابه هذه الأعراض كثيرًا مع أعراض التحلل الشبكى الذى يُحدثها فيرس التفاف الأوراق.

٣–تصاب الدرنات بالتلون الماهوجنى الداخلى Internal Mahogany Browning وهو عيب فسيولوجى، من أهم أعراضه ظهور مناطق داخليةٍ بلونٍ أحمر ضاربٍ إلى البنى أو الأسود، خاصة فى مركز الدرنة. وتتشابه هذه الأعراض – إلى حدٍ كبيرٍ – مع أعراض

الإصابة بحالة القلب الأسود. ومع تقدم الإصابة يجف النسيج المتأثر وتظهر فجوات مكانه.

أما التعرض لحرارة التجمد، فإنه يعنى فقد المحصول؛ فيؤدى تجمد النموات الخضرية ثم تفككها إلى ذبول الأوراق وانهيارها، ثم تبدو مائية المظهر Water-Soaked، وتتلون باللون الأسود؛ فتظهر كأنها محترقة. تتتابع هذه الأعراض بسرعةٍ كبيرةٍ عند ارتفاع درجة الحرارة فى الصباح، وبمجرد تفكك الأنسجة التى تجمدت ليلاً. ولا تلبث الأوراق أن تجف بعد ذلك، وتتحول إلى اللون البنى. وتشتد حالات الإصابة بالتجمد فى المناطق المنخفضة التى يتجمع فيها الهواء البارد، وفى المرتفعات التى تكون باردةً بطبيعتها.

وإذا حدث وتجمدت الدرنات فى التربة — وهو أمر نادر فى المناطق المعتدلة — فإن الأنسجة المتجمدة تبدو مائية المظهر؛ وذات حدودٍ واضحةٍ تميزها عن الأنسجة غير المتجمدة. وعند تفكك النسيج المتأثر، فإنه يتحول سريعًا إلى اللون الوردى أو الأحمر، فالبنى أو الرمادى، ثم الأسود، ويصبح متعفنًا وطريًّا (Rastovski وآخرون ١٩٨١).

ويحدث التجمد لنباتات البطاطس إذا انخفضت الحرارة عن -٣°م، وهى تتشابه فى هذا الأمر مع عددٍ كبيرٍ من الأنواع الأخرى التابعة للجنس *Solanum*، بينما يمكن لبعض الأنواع البرية الأخرى أن تتحمل درجات حرارة أكثر انخفاضًا، تصل إلى -٤,٥°م فى النوع *S. commersonii*، وإلى -٥°م فى النوع *S. chomatophilum*، و-٦°م فى النوع *S. acaule*، ويمكن بالأقلمة التدريجية على الحرارة المنخفضة (٢°م) أن يتحمل النوع الأخير حرارةً تصل إلى -٩°م، بينما لا تتأثر البطاطس كثيرًا بعملية الأقلمة على الحرارة المنخفضة (Li & Fennell ١٩٨٥).

ويمكن أن تُضار البطاطس بشدةٍ من سقوط البَرَدْ، وخاصة إذا حدث ذلك فى مرحلة تفتح الأزهار أو قبل ذلك بقليل؛ وهى المرحلة التى تبدأ عندها زيادة حجم الدرنات المتكونة. ويحدث الضرر نتيجةً لنقص المساحة الورقية؛ بسبب ما يُحدثه البَرَدْ من أضرار بالأوراق. وقد قدّر Burger (١٩٩٣) أن تلف أوراق النبات فى مرحلة تفتح الأزهار — بسبب البَرَدْ — بنسبة ١٠٠٪ يؤدى إلى نقص المحصول بنسبة ٦٠٪، بينما

يؤدى تلف ٥٠٪ من الأوراق إلى نقص المحصول بنسبة ٢٠٪ - ٣٠٪. ومن الأضرار الأخرى للبَرَدْ تأخر الحصاد، وصغر حجم الدرنات المتكونة، وزيادة محتواها من السكريات المختزلة. وتتميز الأصناف المتأخرة بقدرةٍ على تجديد النموات الخضرية - بعد التعرض لأضرار البَرَدْ - أكبر من قدرة الأصناف المبكرة.

ولا تتحمل درنات البطاطس التعرض لأشعة الشمس القوية بعد الحصاد مباشرةً؛ فذلك يهيئها للإصابة بالعفن أثناء النقل والتخزين، دون أن تظهر عليها أية أعراض خارجيةٍ سابقةٍ لذلك، باستثناء خروج بعض الإفرازات المائية من العديسات. وتؤدى زيادة فترة التعرض للأشعة القوية - خاصة عند ارتفاعٍ درجة الحرارة - إلى إصابة الدرنات بلسعة الشمس. وتبدو المناطق المتأثرة غائرة قليلاً، وتأخذ مظهرًا حلقيًّا.

إنبات الدرنات

تتراوح درجة الحرارة المثلى لإنبات الدرنات بين ١٨ و٢٢ °م، إلا أن المجال المناسب يتراوح بين ١٥ °م و٢٥ °م. يكون الإنبات بطيئًا فى درجات الحرارة الأقل من ذلك، بينما تتعرض التقاوى للإصابة بالعفن فى درجات الحرارة الأعلى من ذلك. ويبين جدول (١٦-٦) الفترة التى يستغرقها إنبات الدرنات وظهور النبت فوق سطح التربة عند اختلاف درجة حرارة التربة بين ٤,٤ و١٨,٣ °م؛ وهى الحرارة التى تسود غالبًا فى موعد زراعة العروة الصيفية للبطاطس فى مصر.

جدول (١٦-٦): عدد الأيام التى يلزم مرورها لظهور النبت الجديد فوق سطح التربة عند اختلاف حرارة التربة بين ٤,٤ و١٨,٣ °م واختلاف عمق الزراعة (عن Univ. Calif. ١٩٨٦).

حرارة التربة عند الزراعة (م)	عدد الأيام حتى ظهور النبت الجديد عندما تكون الزراعة على عمق (سم)	
	١٠	١٥
٤,٤	٤٠ أو أكثر	٤٠ أو أكثر
٧,٢	٣٠	٤٠
١٠,٠	٢٥	٢٨
١٢,٨	٢٢	٢٦
١٥,٦	٢٠	٢٤
١٨,٣	١٨	٢٢

وفى دراسة أخرى وجد أن سرعة الإنبات تزيد كثيرًا بارتفاع الحرارة حتى ٢٤°م، كما هو مبين فى جدول (١٦-٧). ويتضح من الجدول أن أنسب درجة حرارة لإنبات درنات البطاطس تتراوح بين ٢١°م و ٢٤°م (Yamaguchi وآخرون ١٩٦٤).

جدول (١٦-٧): تأثير درجة الحرارة على سرعة إنبات درنات البطاطس.

المجال الحرارى	عدد الأيام اللازمة حتى	
	٥٠٪ إنبات	١٠٠٪ إنبات
١٠- ١٢,٧	٢٨	٣٦
١٥,٥- ١٨,٣	١٣	٢٠
٢١,١- ٢٣,٨	٨	١٣
٢٦,٦- ٢٩,٤	١٢	١٥

النمو الخضرى

أوضح Bodlaender (١٩٦٠ أ،ب) أنه لم تحدث أية زيادة فى طول ساق نبات البطاطس فى حرارة أقل من ٧-٨°م، ثم ازداد طول الساق تدريجيًّا بارتفاع درجة الحرارة، إلى أن وصل طول الساق إلى أقصى مدى له فى حرارة ١٨- ٢٠°م، وكانت الزيادة فى طول الساق فى الحرارة العالية أكبر منها فى الحارة المنخفضة. ولم يجد الباحث اختلافًا بين حرارة النهار وحرارة الليل فى التأثير على طول الساق. أما الأوراق والوريقات، فقد كانت — عادة — أكبر حجمًا، وكان لونها الأخضر أكثر دكنةً عندما كانت درجة الحرارة مرتفعة نهارًا ومنخفضةً ليلاً. وأدت حرارة الليل المرتفعة إلى موت الأوراق بسرعة أكبر مما لو كانت حرارة الليل منخفضةً، ولكن معدل تكوين الأوراق الجديدة ازداد فى المقابل؛ الأمر الذى أدى إلى زيادة العدد النهائى لأوراق النبات فى الحرارة العالية. وقد توصل Bodlaender من دراسته إلى أن أفضل المعدلات الحرارية كانت من ١٨- ٢٠°م لنمو السيقان، و١٢- ١٤°م لنمو الأوراق، وأن ارتفاع الحرارة ليلاً يؤدى إلى نقص نسبة الأوراق إلى السيقان.

كذلك درس Borah & Milthorpe (١٩٦٢) تأثير الحرارة الثابتة: ١٥، و٢٠، و٢٥°م، والحرارة المتغيرة: ٢٠°م نهارًا مع حرارة ١٠، أو ١٥، أو ٢٠، أو ٢٥°م ليلاً، ووجدا أن نمو البطاطس فى الحرارة الثابتة العالية ٢٥°م أعطى أكبر نمو خضرى للسيقان والأوراق، وأكبر قدرٍ من التفريع. وقد أكد Scaramella Petri (١٩٦٣) تلك النتائج؛ حيث وجد أن سيقان نباتات البطاطس كانت أكثر طولاً فى حرارة ٢٥°م منها فى حرارة ١٥°م، أو ٢٠°م، وكان هذا النمو الخضرى القوى مصاحبًا بضعفٍ فى نمو الأجزاء تحت الأرضية للنبات؛ مما أدى إلى نقص المحصول.

وتأييدًا لما سبق بيانه من أن الحرارة العالية تؤدى إلى زيادة طول النبات، وجد Krug (١٩٦٣) أن نباتات البطاطس — عندما كانت الحرارة ١٢°م نهارًا، و٨°م ليلاً لمدة ٤٠ يومًا، ثم زيدت إلى ١٦°م نهارًا، و١٢°م ليلاً– كانت أكثر اندماجًا مما لو كانت الحرارة أعلى من ذلك.

أما درجة حرارة التربة المثلى للنمو الخضرى المتوازن مع النمو الدرنى فإنها تتراوح بين ١٥°م و١٨°م، وتؤدى الحرارة الأعلى من ذلك إلى زيادة طول الساق وزيادة وزن النمو الخضرى، وخاصة عندما تكون حرارة الهواء منخفضةً (١٧°م نهارًا، و ١١°م ليلاً) (عن Boadlander ١٩٦٠).

وتوجد علاقة طردية خطية بين معدل ظهور الأوراق الجديدة فى البطاطس ودرجة الحرارة بين ٩ و٢٥°م، ولكن هذه الزيادة لا تستمر فى معدل تكوين الأوراق الجديدة مع استمرار ارتفاع الحرارة عن ٢٥°م. وقد قدر المعامل الحرارى Temperature Coefficient لمعدل ظهور الأوراق الجديدة بنمو ٠,٠٣٢ ورقة/درجة حرارية يومية degree days، مع اعتبار أن درجة الأساس هى الصفر المئوى. كما نقصت فترة استكمال نمو الورقة الواحدة مع ارتفاع الحرارة حتى ٢٥°م، حيث كانت الدرجة

الحرارية اليومية الطبيعية ثابتةً عند ١٧٠ °م، باعتبار أن حرارة الأساس هى الصفر المئوى (Kirk & Marshall ١٩٩٢).

كما وجد Almekinders & Struik (١٩٩٤) أن ارتفاع الحرارة بين ١٥ °م و٢٧ °م أدى إلى زيادة عدد الفروع الجانبية.

وقد تبين من دراسات Gawronska وآخرين (١٩٩٢) أن الحرارة العالية (٣٥ °م نهارًا/ ٢٥ °م ليلاً) أدت إلى خفض الإنتاج الكلى للمادة الجافة، وغيرت من توزيعها فى النبات لصالح النمو الخضرى وعلى حساب النمو الدرنى؛ وذلك مقارنة بالحرارة المعتدلة (٢٥ °م نهارًا/ ١٢ °م ليلاً).

وقد وجد Hammes & Jager (١٩٩٠) أن صافى البناء الضوئى انخفض فى البطاطس بارتفاع درجة الحرارة عن ٢٠ °م. وفى حرارة ٤٠ °م.. كان معدل البناء الضوئى ٣٧٪ من معدله فى حرارة ٢٠ °م. وعندما حُوفظ على حرارة الهواء ثابتةً عند ٢٠ °م بينما زيدت حرارة التربة — فقط — إلى ٤٠ °م.. كان معدل البناء الضوئى ٧٢٪ من معدله عند حرارة تربة وهواء مقدارها ٢٠ °م.

كذلك أوضح Thornton وآخرون (١٩٩٦) أن الحرارة العالية (٣٥ °م نهارًا، و٢٥ °م ليلاً، مقارنةً بحرارة ٢٥ °م نهارًا، و١٢ °م ليلاً) أدت إلى نقص الوزن الجاف الكلى لجميع أصناف البطاطس التى شملتها الدراسة، وظهر أكبر تأثير للحرارة العالية فى الصنف رصِّت بربانك الحساس للحرارة، كما بدا أن اختلاف الأصناف فى مدى تحملها للحرارة العالية كان مرتبطًا بمدى تأثر نسبة التنفس إلى البناء الضوئى فيها بالحرارة العالية.

تكوين ونمو السيقان الأرضية

تؤثر الحرارة على تكوين ونمو السيقان الأرضية؛ فعندما تكون درجة الحرارة فى

المجال الملائم لنبات البطاطس نجد أن السيقان الأرضية تبدأ فى النمو والاستطالة من وقت ظهور النبات فوق سطح التربة. وعند ارتفاع درجة الحرارة نجد أن نمو السيقان الأرضية يتأخر لحين تكوّن عدة أوراق؛ لأن تكوين السيقان الأرضية يرتبط بتراكم المواد الكربوهيدراتية فى ساق النبات أسفل سطح التربة، وهو الأمر الذى لا يحدث بسرعةٍ عند ارتفاع درجة الحرارة بسبب استهلاك نسبةٍ عاليةٍ من الغذاء المجهز فى التنفس. ومع ذلك.. فإن مستوى المواد الكربوهيدراتية اللازم لتكوين المدادات أقل بكثيرٍ من المستوى اللازم لتكوين الدرنات (Thompson & Kelly ١٩٥٧).

تكوين ونمو الدرنات، والمحصول

تؤثر درجة الحرارة على تكوين الدرنات؛ وبالتالى فإنها تؤثر على كمية المحصول. وقد كان Bushnell (١٩٢٥) أول من در هذا الموضوع، ووجد أن ارتفاع الحرارة من ٢٠ – ٢٩°م صاحبه نقص فى إنتاج الدرنات، ولم تتكون أية درنات عندما تعرضت النباتات لحرارة ثابتةٍ مقدارها ٢٩ °م. وقد علل ذلك بازدياد معدل تنفس الأجزاء الهوائية فى درجات الحرارة العالية؛ وبالتالى زيادة استهلاك الغذاء المجهز فى التنفس؛ الأمر الذى أدى إلى نقص المحصول الذى يتوقف على كمية المواد الكربوهيدراتية المنتجة التى تفيض عما يلزم للنمو والتنفس فى جميع أجزاء النبات الأخرى.

وقد تأيدت تلك النتائج بدراسات Werner (١٩٣٤) التى وجد فيها أن الحرارة العالية – التى تراوحت بين ٢٤°م و٣٣°م – أثّرت سلبيًّا على محصول الدرنات، بينما ازداد المحصول فى درجات الحرارة الأقل من ٢٤ °م. وقد أمكن تجنب التأثير الضار للحرارة المرتفعة – جزئيًّا – بتقصير طول الفترة الضوئية؛ حيث أمكن الحصول على درنات فى حرارة ٣٢°م بتخفيض الفترة الضوئية إلى ٢/١ ١٠ ساعة.

وتتراوح الحرارة المثلى لتكوين الدرنات فى البطاطس بين ١٥، و٢٠ °م (عن

Bodlaender ١٩٦٠ أ). ويؤدى ارتفاع الحرارة أثناء الليل إلى تأخير تكوين الدرنات ونقص عددها، بينما يؤدى ارتفاع الحرارة نهارًا إلى نقص حجم الدرنات المتكونة (Adisarwanto ١٩٩٣).

وكلما ازدادت شدة الإضاءة ازداد الحد الأقصى لدرجة الحرارة التى يمكن أن تنتج فيها الدرنات؛ لذا يلاحظ أن البطاطس تعطى محصولاً جيدًا فى المناطق ذات الجو القارى، برغم ارتفاع درجة الحرارة كثيرًا أثناء النهار. ويرجع ذلك إلى أن الارتفاع فى درجة الحرارة نهارًا تصاحبه زيادة فى شدة الإضاءة، كما أن درجة الحرارة تنخفض ليلاً؛ مما يقلل الفقد فى المواد الكربوهيدراتية بالتنفس، كما وجد Bodlaender (١٩٦٠أ) أن درجة الحرارة المناسبة لنمو سيقان النبات تزداد ارتفاعًا مع ازدياد شدة الإضاءة.

يزداد انخفاض محصول الدرنات عند ارتفاع درجة الحرارة ليلاً عنه عند ارتفاع الحرارة نهارًا، والسبب فى ذلك هو أن ارتفاع الحرارة ليلاً يساعد على زيادة الفاقد فى المواد الكربوهيدراتية بالتنفس، بينما يؤدى ارتفاع درجة الحرارة نهارًا إلى زيادة معدلى كلٍ من التنفس والبناء الضوئى. ومع استمرار الارتفاع فى درجة الحرارة يزيد هدم المواد الكربوهيدراتية بالتنفس عن بنائها بالتمثيل الضوئى.

وكما تعمل درجة حرارة الليل المنخفضة على تقليل الفاقد فى المواد الكربوهيدراتية بالتنفس، فإنها تعمل أيضًا على زيادة نمو الأوراق.

وقد وجد Gregory (١٩٥٤ عن Bodlaender ١٩٦٣ أ) أن محصول البطاطس فى حرارة ٣٠ °م نهارًا، و١٧ °م ليلاً كان أكبر مما كان عليه الحال فى حرارة ثابتة مقدارها ٢٣ °م، وأُرجعت هذه الزيادة فى المحصول إلى حرارة الليل المنخفضة. كذلك وجد Courduroux (١٩٥٩) أن حرارة الليل المنخفضة فى حدود ١٤ °م حفّزت تكوين الدرنات. أما Bodlaender (١٩٦٠ أ) فقد وجد نقصًا فى عدد الدرنات المتكونة بارتفاع

درجة حرارة الليل، وكان أنسب مجالٍ حرارىٍ لنمو الدرنات فى تلك الدراسة هو ١٨ — ٢٤°م نهارًا مع ٦ — ١٢°م ليلاً.

وعلى الرغم من أن أنسب حرارة لتكوين الدرنات — كمتوسطٍ عامٍ — هى ١٥°م، إلا أن المحصول المرتفع يناسبه مجال حرارى من ١٨ — ٢١°م، وهو وسط بين الدرجة المثلى لتكوين الدرنات والدرجة المثلى لنمو السيقان، والتى تبلغ ٢٥°م (Borah & Milthorpe ١٩٦٢). ويؤدى انخفاض الحرارة عن ١٥°م إلى تأخير تكوين الدرنات، كما يؤدى ارتفاعها عن ٢٥°م إلى جعل الدرنات المتكونة غير منتظمة الشكل، وقريبة من سطح التربة.

نوعية الدرنات

تؤثر الحرارة على نوعية الدرنات المتكونة؛ فتكون الدرنات أكثر انتظامًا فى الشكل فى حرارة تتراوح بين ١٥°م و ٢١°م. ويؤدى انخفاض الحرارة إلى ١٠ — ١٣°م إلى أن تميل درنات الأصناف المستطيلة إلى الكروية، كما يؤدى ارتفاعها إلى ٢٧ — ٢٩°م إلى تغير شكل الدرنات، فتصبح مغزلية، كما فى الصنف هوايت روز White Rose، أو تظهر بها نموات جانبية؛ كما فى كثير من الأصناف.

ويتكون الجلد الشبكى بشكلٍ جيدٍ فى الأصناف الشبكية russeted فى حرارة ٢٤°م؛ بالمقارنة بدرجات الحرارة الأقل والأعلى من ذلك. ومع انخفاض درجة الحرارة يقل تكوين البيريدرم المسئول عن الشبك السطحى على درنات هذه الأصناف؛ إلى حد أن تصبح الدرنات ملساء فى حرارة ٧ — ١٠°م. ويعد ذلك عيبًا تجاريًا فى هذه الأصناف.

وتكون نسبة السكر والنشا والكثافة النوعية للدرنات أعلى ما يمكن فى حرارة ١٥ — ٢٤°م؛ بالمقارنة بما تكون عليه هذه الصفات فى درجات الحرارة الأعلى أو الأقل من ذلك.

تأثير الفترة الضوئية

أوضح McCelland منذ عام ١٩٢٨ أن النمو الخضرى فى البطاطس يناسبه النهار الطويل، بينما تكوين الدرنات يناسبه النهار القصير (عن Piringer ١٩٦٢). وقد تأيد ذلك فى عديدٍ من الدراسات الأخرى. ويؤدى النهار الطويل إلى زيادة النمو الخضرى، واستمراره لفترة أطول مما فى النهار القصير فى كلٍ من الأصناف المبكرة والمتأخرة على حدٍ سواء. ويزيد النهار القصير من كفاءة تكوين الدرنات؛ فتكون نسبة وزن الدرنات إلى المجموع الخضرى أكبر فى النهار القصير. وفى نفس الوقت نجد أن النهار القصير يؤثر سلبيًا على المحصول الكلى؛ لأنه يشجع على تكوين الدرنات مبكرًا؛ فيتوقف النمو الخضرى مبكرًا، ويقل المحصول تبعًا لذلك (Burton ١٩٤٨، و Ezekiel & Bhargava ١٩٩١). ولا يعنى ذلك أن البطاطس لا تكوّن درنات فى النهار الطويل، ولكنها تنمو أثناءه خضريًا لفترة أطول قبل أن تبدأ فى وضع الدرنات. وتأييدًا لذلك.. وُجد أن أصناف البطاطس الأوروبية تقل فترة نموها بمقدار ٢٥٪–٥٤٪ إذا زرعت فى المناطق القريبة من خط الاستواء؛ حيث يؤدى النهار القصير فيها إلى إسراع تكوين الدرنات، وتوقف النمو الخضرى مبكرًا؛ ويقل المحصول تبعًا لذلك (Hardenburg ١٩٤٩).

وعلى الرغم من أن جميع أصناف البطاطس تستجيب للفترة الضوئية بنفس الطريقة التى سبق بيانها، إلا أن درجة الاستجابة تتوقف على درجة التبكير فى النضج؛ فقد وجد Caesar & Krug (١٩٦٥) أن زيادة طول النهار من ١٢ إلى ١٨ ساعة أدت إلى زيادة النمو الخضرى، وإطالة مدته، وزيادة عدد ومحصول الدرنات فى ١٢ صنفًا من البطاطس، إلا أن الأصناف المتأخرة كانت أكثر استجابة من الأصناف المبكرة. وفى دراسة سابقة لذلك أجريت على سلالتين من الصنف ترايمف Triumph إحداهما مبكرة، والأخرى متأخرة، وجد أن تكوين الدرنات فى كلتيهما فى نهار ١١ ساعة كان أسرع مما فى نهار ١٦ ساعة، كما كان تكوين الدرنات أسرع فى السلالة المبكرة مما فى السلالة المتأخرة فى معاملتى طول الفترة الضوئية، إلا أن الفرق بينهما فى الفترة

الضوئية القصيرة كان أقل مما فى الفترة الضوئية الطويلة. وقد كان المحصول فى كلتيهما أكبر فى النهار الطويل مما فى النهار القصير.

ويلاحظ أن الحد الأقصى لطول النهار المناسب لتكوين الدرنات فى الأصناف المبكرة يكون أكبر مما فى الأصناف المتأخرة، فنجد فى المناطق الشمالية أن الأصناف المبكرة تنمو فى ظروف النهار القصير فى الربيع وبداية الصيف، وتضع درناتها فى ظروف النهار الطويل فى منتصف الصيف، بينما نجد أن الأصناف المتأخرة تستمر فى النمو الخضرى خلال الصيف، ثم تضع درناتها عندما تقصر الفترة الضوئية فى أواخر فصل الصيف. ويعمل النهار الطويل على إطالة فترة النمو الخضرى فى الأصناف المبكرة قبل أن تبدأ فى وضع الدرنات، ويعمل ذلك على زيادة محصولها.

ويتبين من دراسات Markarov وآخرين (١٩٩٣) أن مدى تأثر النمو الخضرى – وكذلك الزهرى – للبطاطس بالفترة الضوئية يتوقف على كلٍّ من الصنف والنوع. وقد استخدم الباحثون فى دراستهم الأنواع *Solanum tuberosum*، و*S. andigenum*، و*S.stoloniferum*.

ومما يدل على أن البطاطس من نباتات النهار القصير – بالنسبة لتكوين الدرنات – أن قطع الليل الطويل بفترة إضاءة طولها ٢٠ دقيقة فقط تؤدى إلى توقف تكوين الدرنات بدرجة كبيرة. وعلى العكس من ذلك.. فإن قطع النهار الطويل بفترة ظلام مدتها ٢٠ دقيقة لم يؤثر على تكوين الدرنات، كما لم تؤد فترتان من الظلام (طول كل منهما ٧ ساعات، وتفصل بينهما دقيقتان من الضوء) إلى تكوين الدرنات فى النوع *S. demissum*، أو إلى إسراع تكوين الدرنات فى النوع *S. tuberosum* (عن Smith ١٩٦٨). ولا يعنى ذلك أن كل أصناف البطاطس لا تكوِّن درنات فى النهار الطويل؛ فذلك لا يحدث إلا فى بعض الأصناف التى أُنتجت أصلاً فى أمريكا الجنوبية بالقرب من خط الاستواء؛ حيث النهار قصير، فهذه الأصناف لا تكوِّن درنات إذا زرعت صيفًا فى المناطق الشمالية حيث النهار الطويل، وعلى العكس من ذلك.. فإن الأصناف المنتجة فى المناطق الشمالية تضع

درناتها بسرعة أكبر إذا تعرضت لنهار قصير. وإذا زرعت هذه الأصناف فى أقصى الشمال؛ حيث يصل طول النهار صيفًا إلى ٢٢ — ٢٤ ساعة، فإنها تنمو وتعطى محصولاً من الدرنات خلال شهر سبتمبر، ثم تموت النباتات فجأة بفعل الصقيع، إلا أن الدرنات المتكونة تكون مائية المظهر، وتنخفض فيها نسبة النشا كثيرًا؛ حيث تتراوح بين ٧٪ و١٣٪. ومما تجدر ملاحظته أن النهار الطويل فى هذا المناطق يعوض جزئيًا قِصَر موسم النمو (عن Smith ١٩٦٨).

وإلى جانب ما تقدم بيانه عن تأثير الفترة الضوئية على تكوين الدرنات، نجد أن الفترة الضوئية الطويلة تؤدى إلى زيادة عدد وطول ودرجة تفريع السيقان الأرضية.

ويستفاد من دراسات Matheny وآخرين (١٩٩٢) أن استعمال غطاءٍ بلاستيكىٍ للتربة بلونٍ أبيض، أو أزرق شاحبٍ أدى إلى زيادة المحصول بأكثر من ١٥٪ عن معاملة الكنترول التى لم يستعمل فيها غطاء بلاستيكى للتربة، أو معاملة استعمال الغطاء البلاستيكى الأحمر. وكان مرد هذا التأثير إلى نسبة الأشعة تحت الحمراء التى انعكست من مختلف المعاملات.

وإلى جانب التأثير المنفرد لكلٍّ من درجة الحرارة والفترة الضوئية على النمو الخضرى والدرنى فى البطاطس نجد أنهما يتفاعلان معًا عند إحداثهما لتأثيراتهما؛ بمعنى أن تأثير الاختلاف فى درجة الحرارة يتوقف على الفترة الضوئية، كما أن تأثير الاختلاف فى الفترة الضوئية يتوقف على درجة الحرارة. وقد كان Werner (١٩٣٤) هو أول من درس هذا الموضوع؛ حيث توصل الباحث إلى أن النمو الخضرى يناسبه النهار الطويل، ودرجة الحرارة المرتفعة، بينما النمو الدرنى يناسبه النهار القصير، ودرجة الحرارة المنخفضة. وقد أدى تعريض النباتات إلى ظروف النهار القصير — مع حرارةٍ مرتفعةٍ — إلى جعلها صغيرة الحجم، وذات نسبةٍ مرتفعةٍ جدًا من وزن الدرنات إلى النمو الخضرى. وكان أعلى محصول عندما تعرضت النباتات لظروف النهار المتوسط الطول مع حرارة منخفضة. ومع ارتفاع درجة الحرارة وزيادة طول النهار ازداد النمو

الخضرى، وانخفض إنتاج الدرنات. وفى ظروف النهار الطويل مع درجة حرارة شديدة الارتفاع لم تنتج النباتات أية درنات. وقد أوضح Werner أن الفترة الضوئية القصيرة يمكن أن تعوض تأثير الارتفاع الكبير فى درجة الحرارة؛ حيث حصل على درنات فى حرارة ٣٢°م بخفض فترة الإضاءة إلى ١٠ ١/٢ ساعة يوميًّا. ومن جهة أخرى.. فالحرارة المنخفضة يمكن أن تعوض الزيادة الكبيرة فى طول الفترة الضوئية. ومما يدل على ذلك أن البطاطس تكوّن درناتٍ فى المناطق التى تقع فى خط عرض ٦٨° شمالاً، حيث لا تغرب الشمس فى منتصف الصيف فى هذه المناطق، إلا أن درجة الحرارة تكون منخفضة.

كما وجد Werner أن مستوى الآزوت فى التربة يمكن أن يؤثر فى استجابة نباتات البطاطس لدرجة الحرارة والفترة الضوئية؛ فبخفض مستوى التسميد الآزوتى أمكن تقليل النمو الخضرى، وتكونت درنات فى درجة حرارة أكثر ارتفاعًا مما لو كان مستوى التسميد الآزوتى مرتفعًا. وقد أدت كثرة توفر الآزوت فى الظروف المناسبة للنمو الخضرى إلى غزارة النمو الخضرى، ونقص المحصول. ومن جهةٍ أخرى.. لم تكن للتسميد الآزوتى الوفير تأثيرات ضارة فى ظروف النهار القصير والحرارة المنخفضة.

وتجدر الإشارة إلى أن تعريض البطاطس للإضاءة المستمرة طوال الـ ٢٤ ساعة يوميًّا يؤدى إلى ظهور اصفرارٍ بين العروق وبقع بنيةٍ متحللةٍ على السطح العلوى للأوراق التى تكون فى مرحلة النمو، يتبعه تقزم فى النمو النباتى؛ وهى أعراض تظهر – كذلك – على نباتات الطماطم التى تتعرض لنفس الظروف. ويسبق ظهور هذه الأعراض نقص فى البناء الضوئى، وفى محتوى النشا بالأنسجة المتأثرة، وفى سلامة أغشيتها الخلوية. وتعرف هذه الظاهرة باسم أضرار الإضاءة المستمرة Constant Light Injury.

وقد تبين أن أية انحرافات كبيرة عن الدورات الضوئية الطبيعية القريبة من ١٢ ساعة ضوءًا و١٢ ساعة ظلامًا (مثل: ٢٠/٤، و ٦/٦ متكررة مرتان يوميًّا) تحدث نفس الظاهرة.

كما وجد أن إحداث تباينات بين حرارتى الليل والنهار بمقدار ٨ْم أو أكثر من ذلك منعت ظهور أضرار الإضاءة المستمرة.

كما أدى استعمال درنات كبيرة الحجم (حوالى ١٠٠ جم) كتقاوٍ إلى منع حدوث هذه الظاهرة — كذلك — مقارنة باستعمال درنات صغيرة؛ مما يدل على أن لقوة النمو النباتى وانتقال المركبات الكربوهيدراتية فى النبات دورًا مهمًا فى التحكم فى ظهور هذه الأضرار.

هذا.. وتختلف أصناف البطاطس كثيرًا فى حساسيتها لتلك الأضرار؛ فمثلاً.. يعد الصنف كنيبك Kennebec شديد الحساسية، بينما يعتبر الصنف رصِّت بربانك Russet Burbank كثير التحمل (Cushman & Tibbitts ١٩٩٦).

تأثير شدة الضوء

تؤدى الإضاءة القوية إلى التبكير فى تكوين الدرنات، والتبكير فى وصول السيقان الهوائية إلى أقصى نموٍ لها، وكذلك إلى التبكير فى موتها، كما تؤدى إلى زيادة نسبة المادة الجافة فى الدرنات، إلا أن ذلك يكون مصحوبًا بنقصٍ فى المحصول بسبب موت النباتات مبكرًا. ومن جهة أخرى.. فإن الإضاءة الضعيفة تؤدى إلى زيادة طول السيقان وصغر حجم الأوراق.

تأثير العوامل البيئية على الإزهار

يتأثر النمو الخضرى ومحصول البطاطس سلبيًّا عند إزهارها أو إثمارها. ففى دراسة أجراها Bartholdi (١٩٤٢) على ثلاثة أصنافٍ من البطاطس تختلف فى عدد الأزهار التى ينتجها كل منها قام الباحث بمقارنة تأثير ثلاث معاملات؛ هى: إزالة البراعم الزهرية بمجرد ظهورها، وإزالة الأزهار بعد تفتحها مباشرة، وترك النباتات لتزهر وتثمر بصورة طبيعية. وقد وجد أن الإزهار (أى المعاملة الثانية) أدى إلى تقليل النمو الخضرى بمقدار ٩٪، والنمو الدرنى بمقدار ١٠٪، بينما أدى الإثمار (أى المعاملة الثالثة) إلى تقليل النمو الخضرى بمقدار ١٨٪، والنمو الدرنى بمقدار ٢٣٪، كما أثر كل من الإزهار والإثمار سلبيًّا على عدد الدرنات التى تهيأت للتكوين، وعلى العدد الذى وصل إلى الحجم الصالح للتسويق.

وعلى الجانب الآخر.. فإن إزهار البطاطس ذو أهميةٍ كبيرةٍ عند الزراعة بالبذور الحقيقية، وبالنسبة لمربى النباتات الذى يلجأ إلى إجراء التهجينات، والإكثار بالبذور الحقيقية عند إنتاج الأصناف الجديدة فى برامج التربة.

وتؤثر العوامل البيئية على إزهار البطاطس على النحو التالى:

تأثير درجة الحرارة

يكون الإزهار غزيرًا عندما تكون حرارة الليل ١٨ °م، بينما تنتج النباتات براعم زهرية فقط عندما تكون حرارة الليل ١٢ °م. ولا يتأثر الإزهار بدرجة حرارة النهار.

وقد وجد أن عدد مبادئ الأزهار المتكونة واستمرار بقائها فى نورات البطاطس قبل سقوطها ازداد بزيادة طول الفترة الضوئية، وبارتفاع الحرارة حتى ٢٣ °م، ولكن توقف تكوين الأزهار فى حرارة ٢٧ °م (Almekinders & Struik ١٩٩٤).

تأثير الفترة الضوئية

يحتاج إزهار البطاطس إلى فترة ضوئية طويلةٍ؛ حيث تزهر معظم الأصناف بوفرةٍ عندما يكون النهار أطول من ١٦ ساعة. وتتكون براعم زهرية فقط إذا كان النهار قصيرًا، وتسقط هذه البراعم دون أن تتفتح إذا ظل النهار قصيرًا. وليس للفترة الضوئية تأثير على حيوية اللقاح (Piringer ١٩٦٢).

تأثير شدة الإضاءة

قد تساعد الإضاءة القوية على دفع النباتات إلى الإزهار.

وإلى جانب العوامل البيئية نجد أن إزهار نباتات البطاطس يتأثر كثيرًا بعاملين آخرين هما:

١- الصنف: حيث تختلف الأصناف كثيرًا فى قابليتها للإزهار تحت نفس الظروف البيئية.

٢- مستوى المواد الكربوهيدراتية فى النبات: يؤدى تراكم الغذاء المجهز فى

السيقان والأوراق إلى تحفيز الإزهار. ويؤدى تقليم السيقان الأرضية أو إزالتها إلى دفع النباتات نحو الإزهار؛ نظرًا لعدم تكون درنات وتراكم المواد الكربوهيدراتية فى النموات الهوائية. ويقوم مربو البطاطس بدفع النباتات نحو الإزهار عن طريق تحليق السيقان؛ حيث يتوقف انتقال الغذاء المجهز من النموات الخضرية إلى الدرنات.

تأثير بعض الظواهر الجوية الأخرى

تأثير الرياح

تظهر أضرار الرياح على السطح العلوى للأوراق نتيجة احتكاك الأوراق بعضها ببعض. يجف النسيج المتأثر بالاحتكاكات التى تُحدثها الرياح، ويكتسب لونًا بنيًا ومظهرًا زيتيًا، ويختلف فى مساحته، وقد يتعمق أحيانًا حتى السطح السفلى للورقة. وفى حالات الرياح الشديدة يبدو النبات متخشبًا. كذلك تؤدى الرياح الباردة إلى اكتساب السطح السفلى للأوراق لونًا بنيًا. وتكثر الأعراض — عادةً — فى حواف الحقل.

وإذا ساد الجو رياحٌ قوية وقت الحصاد، فإن الدرنات يمكن أن تتأثر حتى لو كانت الدرنات معبأة فى أجولة فى الحقل. وتظهر الأعراض — فيما بعد — أثناء التخزين على صورة بقع غائرة فى المواقع المتسلخة من الدرنات. وقد تصاب هذه البقع ببكتيريا العفن. وتكون الأضرار فى الدرنات غير المكتملة التكوين أكبر منها فى الدرنات مكتملة التكوين.

تأثير البَرَد

يؤدى البَرَد إلى تمزيق الأوراق وتثقيبها. وعلى الرغم من أن لنبات البطاطس قدرةً كبيرةً على التغلب على أضرار البَرَد ومعاودة النمو، إلا أن الأضرار قد تكون كبيرةً جدًا أحيانًا إلى درجةٍ تؤثر سلبيًا على المحصول. وتظهر أعراض أضرار البَرَد على السيقان فى مواقع الاصطدام؛ حيث تصبح البشرة رمادية اللون ذات لمعة قرمزية.

ويتوقف النقص فى المحصول على مقدار الضرر الذى يُحدثه البَرَد، وموعد حدوثه، والصنف المزروع. ويحدث أكبر نقص فى المحصول إذا تأثر النمو الخضرى

بالبَرَد بعد حوالى أسبوعين إلى ثلاثة أسابيع من التزهير. كما يؤدى البَرَد إلى نقص المحصول الصالح للتسويق؛ لأن أضرار البَرَد للنموات الخضرية تتبعها زيادة نسبية فى الدرنات الصغيرة وغير المنتظمة الشكل. وقد تنخفض الكثافة النوعية للدرنات إذا أتلف البَرَد الأوراق المكتملة النمو.

تأثير البرق

بعد تعرض النباتات للبرق بفترة تتراوح بين دقائق قليلة وساعات قليلة تنهار السيقان، وتذبل النموات الخضرية بصورة دائمة. وفى معظم الأحيان تمتد أعراض إصابات السيقان لمسافة ٥-١٠ سم فوق مستوى سطح التربة، ولكنها نادرًا ما تتعمق أسفل سطح التربة على الساق. تكون الأجزاء المتأثرة من الساق طرية، ومائية المظهر، وسوداء إلى بنية اللون. وسرعان ما تجف الأنسجة المتأثرة وتكتسب لونًا بنيًا أو رماديًا، بينما يكون سطحها رصاصيًا فاتحًا إلى أبيض. ويؤدى انهيار نخاع الساق إلى تفلطحها وظهور انخفاضات طولية على امتدادها. كذلك غالبًا ما تنهار أعناق الأوراق الملامسة لسطح التربة.

أما أجزاء الساق التى توجد تحت سطح التربة والجذور، فإنها تفلت غالبًا من الإصابة، وتبقى الأنسجة الوعائية سليمةً وقائمةً بوظائفها؛ إلى درجة أن الأوراق تبقى خضراء وغير ذابلة.

هذا.. إلا أن الدرنات قد تُضَار من البرق؛ حيث قد يصبح جلد الدرنة بنيًا أو أسود، كما قد تظهر شقوق بالدرنة. وكثيرًا ما تمتد الإصابة من أحد جوانب الدرنة إلى جانبها الآخر؛ حيث يتحلل نسيج الدرنة تدريجيًا، إلى أن يتطور إلى تكوين ثقب بين جانبى الدرنة، بينما تبقى الأجزاء غير المتأثرة من الدرنة صلبة.

الخيار

يتأثر نمو نباتات الخيار بدرجة الحرارة والضوء على النحو التالى:

١- يأخذ نمو الورقة الواحدة شكل منحنى النمو الزيجمويد S-curve، ولكنه يتأثر بشدة الإضاءة.

٢–يكون معدل استطالة الساق أكبر فى فترة إضاءة طولها ٨ ساعات يوميًّا عما فى إضاءة مدتها ١٦ ساعة. وتنتج النباتات عددًا أكبر من العقد والأوراق فى فترة الإضاءة القصيرة عما فى الإضاءة الطويلة، ولكن النمو الجذرى والمساحة الورقية الكلية يكونان أقل فى فترة الإضاءة القصيرة مما فى الفترة الطويلة.

٣–عند ارتفاع مستوى النيتروجين فإن الطول الكلى لساق النبات قد يزيد فى النهار الطويل عما فى النهار القصير.

٤–عند انخفاض مستوى النيتروجين فإن محتوى النباتات من المواد الكربوهيدراتية فى مرحلة تفتح الأزهار يكون أعلى فى الفترة الضوئية الطويلة عما فى الفترة القصيرة، بينما يحدث العكس عند نضج الثمار.

٥–توجد علاقة طردية خطية بين درجة الحرارة فى المدى المناسب للنمو (بين ٢٠ و٣٠°م) وبين كل من معدل استطالة الساق ومعدل نمو المساحة الورقية، ولكن تأخذ العلاقة بين درجة الحرارة والوزن الجاف للنبات شكل المنحنى الزيجمويد فى مدى حرارى يتراوح بين ١٧ و٢٤°م.

٦–عند ارتفاع درجة الحرارة عن المستوى المثالى ينخفض معدل نمو الأوراق فى النباتات الصغيرة، بتوجه الغذاء المصنع تحت هذه الظروف إلى السيقان.

٧–عند انخفاض درجة الحرارة عن المستوى المثالى لا يرتبط معدل النمو النسبى للورقة بدرجة الحرارة، ويعتمد — حينئذ — على شدة الإضاءة.

٨–يزداد معدل استطالة السيقان عن المستوى العادى حينما ترتفع حرارة الليل عن حرارة النهار.

٩–يقل معدل تكوين البراعم القمية فى الحرارة المنخفضة (عن Robinson & Decker-Walters ١٩٩٧).

١٠– يفضل للنمو الجيد لنبات الخيار أن تكون حرارة النهار أعلى بمقدار ٤–٦°م عن حرارة الليل.

١١- يؤدى انخفاض حرارة وسط نمو الجذور إلى ١٦°م أو أقل من ذلك إلى موت الجذور وضعف النمو الخضرى، ويكون ذلك مصاحبًا بانخفاض فى معدل تنفس الجذور.

١٢- تتوفر اختلافات وراثية كبيرة بين أصناف وسلالات الخيار فى قدرة النباتات على النمو والعقد الجيد للثمار فى الحرارة المنخفضة، وقد أُنتجت أصناف من خيار الصوبات قادرة على النمو والعقد الجيدين فى حرارة ٢٠°م نهارًا، و١٥°م ليلاً.

١٣- يؤدى ارتفاع درجة الحرارة عن المدى المناسب (وهو ١٨- ٢٤°م) إلى زيادة سرعة استطالة السيقان، والتبكير فى الحصاد، ولكن مع نقص فترة الحصاد ونقص المحصول الكلى (عن Wien ١٩٩٧).

١٤- وقد وجد Lee وآخرون (١٩٩٧) أن رفع درجة حرارة التربة (بإمرار ماء ساخن على حرارة ٤٥°م فى أنابيب تحت سطح التربة بنحو ٣٥ سم) كانت له تأثيرات إيجابية على النمو النباتى ومحصول الثمار، وحصل الباحثون على أفضل النتائج عندما رفعت حرارة التربة من ١٥,٧°م فى الكنترول إلى ٢٢,٥°م فى مرحلة الإنبات وبزوغ البادرات، ثم خُفِّضت إلى ٢٠°م ابتداء من اليوم العاشر فى نهاية الشهر الأول بعد الزراعة، ثم إلى ١٨°م خلال الشهر الثانى من الزراعة.

الكوسة

يتأثر تكوين الأوراق الجديدة فى الكوسة بدرجة الحرارة، حيث يزداد عدد الأوراق التى يكونها النبات بارتفاع درجة الحرارة. وعندما أخذت ٨°م كدرجة حرارة أساس، و ٣٢°م كدرجة حرارة قصوى للنمو (ceiling temperature)، وجد NeSmith (١٩٩٧) علاقة طردية بين عدد الدرجات الحرارية اليومية degree-days وعدد الأوراق المتكونة. وكان تكوين الأوراق بطيئًا فى البداية والعلاقة بينها وبين عدد الدرجات الحرارية اليومية على شكل منحنى curvilinear خلال الدرجات الحرارية الثلاثمائة الأولى، ثم أصبحت العلاقة بينهما خطية linear بعد ذلك.

الفلفل

نمو الشتلات

يزداد النمو الخضرى والنمو الجذرى لشتلات الفلفل بارتفاع درجة الحرارة، وتعد حرارة بيئة نمو الجذور هى الأكثر تأثيرًا فى هذا الشأن. وقد حُصِلَ على أعلى معدل للنمو فى الشتلات التى كانت بعمر ٦٠ يومًا عندما تراوحت حرارة الهواء بين ١٨، و٢٣ °م، ودرجة حرارة التربة بين ١٨، و٢٨ °م، ولكن انخفضت الحرارة المثلى التى صاحبها أفضل نمو بزيادة العمر المتوقع للشتلات قبل شتلها، حيث كان المدى الحرارى المناسب ١٣– ٢٣ °م للهواء، و١٣– ٢٧ °م للتربة بالنسبة للشتلات التى كانت بعمر ٧٥ يومًا، و١٣– ١٨ °م للهواء، و١٨ °م للتربة بالنسبة للشتلات التى كانت بعمر ٩٠ يومًا. وقد أدى ارتفاع درجة حرارة الهواء أو التربة إلى زيادة سرعة تميز الأزهار (Choe وآخرون ١٩٩٤).

وقد أوصى Park وآخرون (١٩٩٦) بالمحافظة على حرارة لا تزيد عن ٢٤ °م نهارًا عند إنتاج الشتلات، لكى تكون الشتلات الناتجة مندمجة النمو، ولكن مع رفع الحرارة ليلاً عن ٢٠ °م لكى يرتفع متوسط درجة الحرارة اليومى؛ الأمر الذى يسمح بتهيئة النباتات للإزهار مبكرًا.

النمو النباتى والإزهار

وجد أن نمو وإزهار نباتات الفلفل يرتبطان إيجابيًا بدرجة الحرارة. كذلك فإن عدد الأوراق التى تتكون بعد الأوراق الفلقية حتى إزهار النبات يقل بارتفاع كل من درجتى حرارة الهواء والتربة (Khan & Passam ١٩٩٢، وعن Si & Heins ١٩٩٦). وعلى خلاف الطماطم التى يؤدى تعريض بادراتها لحرارة ١٠ °م إلى تبكير الإزهار ليصبح عند عُقَد أقرب إلى قاعدة النبات، فإن هذه المعاملة تؤدى فى الفلفل – إذا أجريت قبل تكوين مبادئ الأزهار – إلى زيادة عدد الأوراق المتكونة – قبل ظهور أول زهرة – بورقة واحدة أو ورقتين.

هذا.. وتزداد ساق نبات الفلفل طولاً مع كل ارتفاع فى درجة حرارة النهار وانخفاض فى حرارة الليل، أى مع الزيادة فى الفرق الموجب بين درجتى حرارة النهار والليل. وقد أوضحت دراسات Si & Heins (١٩٩٦) أن ارتفاع درجة حرارة النهار وزيادة الفرق الإيجابى بين درجتى حرارة النهار والليل أثر إيجابيًّا وبصورة معنوية على جميع دلائل النمو المقيسة (مثل: طول الساق فى البادرة، وطول السلاميات، وقطر الساق، ومساحة الورقة، وعدد السلاميات والأوراق، وحجم النبات، والوزن الجاف للنمو الخضرى)، كما أثَّر إيجابيًّا كذلك على نسبة الجذر إلى النمو الخضرى، وأدى إلى زيادة دكنة اللون الأخضر فى أوراق النبات. أما العقدة التى ظهرت عندها أول زهرة فإنها ارتبطت بحرارة الليل، حيث كان عدد العقد التى تكونت حتى ظهور أول زهرة فى حرارة ليل ٢٦°م أقل بمقدار ١,٢ عقدة مما فى حرارة ليل ١٤°م.

وقد قارن Mercado وآخرون (١٩٩٧) تأثير تعريض نباتات الفلفل لحرارة مرتفعة (٢٩°م نهارًا مع ٢٠°م ليلاً)، أو منخفضة (٢٥°م نهارًا مع ١٤°م ليلاً) لمدة ٦٠ يومًا، ووجدوا أن معاملة الحرارة المنخفضة أحدثت – مقارنة بمعاملة الحرارة المرتفعة – نقصًا فى طول النمو الخضرى، وعدد الأوراق، والوزن الجاف للنمو الخضرى بنسب تراوحت بين ٥٠٪، و٧٠٪.

البصل

يزداد معدل النمو النسبى Relative Growth Rate لبادرات البصل لوغاريتميًّا – تقريبًا – فى مدى حرارى يتراوح بين ١٠ و١٩°م، ويصل إلى أعلى مستوى له فى حرارة ٢٣– ٢٧°م، ثم ينخفض ثانية عند ٣١°م. كذلك تزداد الكفاءة التمثيلية Net Assimilation Rate ونسبه المساحة الورقية Leaf Area Ratio بين ١٠ و١٩°م ويسهم ذلك فى ازدياد معدل النمو النسبى. وفى درجات الحرارة الأعلى من ذلك يستمر دليل المساحة الورقية Leaf Area Index فى الازدياد حتى ٢٧°م، بينما تنخفض الكفاءة التمثيلية.

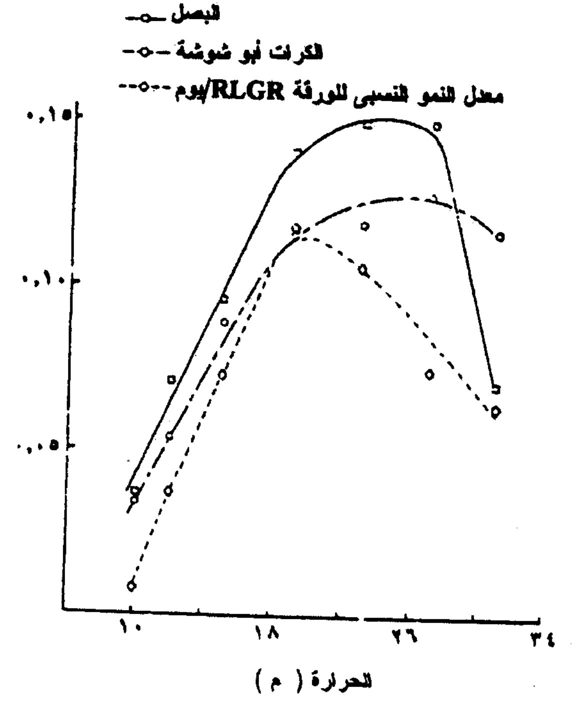
هذا ويكون معدل النمو النسبى والكفاءة التمثيلية أعلى فى البصل عنها فى الكرات أبو شوشة والبصل الأخضر اليابانى.

ويعتمد معدل نمو أوراق البصل كثيرًا على درجة الحرارة، ويوضح شكل (١٦-١) تلك العلاقة فى البصل، والكرات أبو شوشة، والبصل الأخضر اليابانى. يتبين من الشكل ازدياد معدل النمو النسبى للورقة Relative Leaf Growth Rate (اختصارًا: RLGR) خطيًّا فى مدى حرارى يتراوح بين ٦ و ٢٠°م، ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة التالية:

$$RLGR = 0.018\ (T-6)$$

حيث إن RLGR هى معدل النمو النسبى للورقة على أساس يومى، و T هى الحرارة بالدرجة المئوية، و٦ تمثل درجة حرارة الأساس التى يتوقف عندها أو دونها نمو الورقة.

وإذا لم يتعد متوسط الحرارة المدى المناسب، وهو ٢٧°م — كما يظهر فى الشكل — فإن المعادلة السابقة تعنى ببساطة أن نمو الورقة يرتبط بعدد الأيام الحرارية المتجمعة بين ٦ و٢٠°م.



شكل (١٦-١): العلاقة بين معدل النمو النسبى للورقة (RLGR) ودرجة الحرارة فى كل من البصل، والكرات أبو شوشة، والبصل اليابانى فى مرحلة نمو البادرات تحت ظروف إضاءة شدتها ٦٠٠ ميكرومول umol/سم^2/ثانية، ولمدة ١٢ ساعة يوميًّا.

فإذا علمنا أن فلقة البصل الممتدة (المستقيمة) تبلغ مساحتها (كما تقدر لأحد جانبيها المسطحين) ٠,٥ سم٢، فإن المساحة الورقية لنبات من البصل نما لفترة بعد إنباته يمكن التنبؤ بها من المعادلة التالية:

لوغاريتم المساحة الورقية للأساس e = لوغاريتم ٠,٠٥ للأساس e +٠,٠١٠٨× DD

حيث إن المساحة الورقية تمثل أحد الجوانب المسطحة للورقة بالسنتيمتر المربع، والـ DD هى مجموع عدد الأيام الحرارية – بين ٦ و٢٢°م – المتجمعة منذ الإنبات.

البسلة

تناسب الحرارة العالية النمو الخضرى للبسلة مقارنة بالنمو الجذرى؛ مما يؤدى إلى نقص نسبة النمو الجذرى إلى النمو الخضرى؛ الأمر الذى ينعكس سلبيًّا بعد فترة على المحصول البيولوجى. وبالمقارنة فإن الحرارة المنخفضة فى بداية النمو النباتى تحفز النمو الجذرى الجيد، الذى يمكن – بدوره – أن يدعم نموًّا خضريًّا جيدًا. كذلك تسهم الحرارة العالية فى تقليل النمو الخضرى من خلال تقصيرها لفترة النمو الخضرى ذاتها. هذا مع العلم بأن تأثير الحرارة على طول الفترة من الإنبات حتى الإزهار لا علاقة له بتأثير الحرارة على معدل النمو.

وقد تباينت كثيرًا نتائج الدراسات الخاصة بتأثير درجة الحرارة على نمو البسلة، وعقد قرونها، ومحصولها، ومن بين النتائج التى حُصل عليها فى دراسات مختلفة، ما يلى (عن Pumphrey & Raming ١٩٩٠).

- كان المحصول عاليًّا عندما كان الجو دافئًا فى بداية حياة النبات، ومائلاً إلى البرودة بعد ذلك، وكان المحصول منخفضًا عندما كان الجو مائلاً إلى البرودة فى بداية حياة النبات ودافئًا بعد ذلك.

- أمكن إرجاع ٧٥٪ من الاختلافات السنوية فى محصول البسلة فى ولاية وسكنسن الأمريكية إلى الاختلافات فى درجات الحرارة الصغرى خلال مرحلتى نمو البادرة والإزهار وعقد القرون.

- أمكن إرجاع ٦٨٪ من الاختلافات فى محصول البذور فى استراليا إلى الصقيع عند بداية الإزهار، والحرارة العالية أثناء الإزهار، مع توقع زيادة قدرها ٦٠٠ كجم فى محصول البذور/ هكتار مع كل انخفاض قدره درجة واحدة مئوية فى متوسط درجة الحرارة اليومى خلال مرحلة الإزهار.
- توصل Boswell عام ١٩٢٩ إلى أن ٢٠ °م كمتوسط يومى لدرجة الحرارة يعد قريبًا من الحرارة الحرجة التى يؤدى ارتفاعها عن ذلك إلى الإضرار بنمو البسلة.
- وذكر أن محصول البسلة ينخفض بارتفاع درجة الحرارة خلال النهار عن ١٦ °م، وارتفاعها أثناء الليل عن ١٠ °م.
- واعتبر متوسط موسمى لدرجة الحرارة قدره ٢٠- ٢١ °م مثاليًا للبسلة.
- وحُدِّدَت حرارة ٢٥-٢٦ °م حدًّا أقصى للدرجة المناسبة للبسلة خلال الإزهار، وأن النمو يقف عند حرارة ٣٦ °م.
- واقترح آخرون ٢٧ °م كحدٍ أقصى لدرجة الحرارة نهارًا.
- وأوضح الكثيرون أن أشد الأوقات حرجًا بالنسبة للتأثير السلبى للحرارة العالية هو من الإزهار حتى امتلاء القرون، وأن أكثر مكونات المحصول تأثرًا بالحرارة العالية هو عدد القرون بالنبات.

ووجد Pumphrey & Raming (١٩٩٠) أن ارتفاع متوسط الحرارة العظمى اليومى لم يكن بذى تأثير على محصول البسلة حتى ٢٥,٦ °م، ولكن الحرارة الأعلى من ذلك أدت إلى نقص المحصول، وكان النقص فى المحصول لوغاريتميًا مع الارتفاع الخطى فى حرارة النهار. وتراوح النقص فى المحصول الطازج بين ١٦ كجم/ هكتار مع كل زيادة قدرها وحدة حرارية يومية فوق ٢٧ °، و٧٦ كجم/ هكتار مع كل زيادة مماثلة فوق ٣٥ °م.

هذا.. ولم يجد Oliver & Annandale (١٩٩٨) فروقًا معنوية بين أصناف البسلة فى درجات الحرارة الصغرى (التى لا يحدث فى حرارة أقل منها أى نمو)، والمثلى، والعظمى (التى لا يحدث فى حرارة أعلى منها أى نمو) فى مختلف مراحل النمو

والتطور، والتى وجدت كما يلى:

المرحلة	الحرارة الصغرى (م)	الحرارة المثلى (م)	الحرارة العظمى (م)
إنبات البذور	صفر	٢٩	٤٠
نمو البادرة، والنمو الخضرى، والزهرى	٣	٢٨	٣٨

وتحت ظروف الحقل احتاج المحصول من الدرجات الحرارية اليومية: C days إلى حوالى ١٠٠ للإنبات، و٢٦٠ للوصول إلى مرحلة نمو الورقة الرابعة، و٣٨٠ للوصول إلى مرحلة نمو الورقة السابعة، و٧٣٠ للوصول إلى مرحلة نمو الورقة الرابعة عشر، وبين ٧٧٠ و٨٩٠ للوصول إلى مرحلة الإزهار، وبين ١٣٨٠ و١٤٥٠ من زراعة البذرة إلى حين نضج المحصول الأخضر مقدرة بقراءة جهاز تندرومتر tendrometer reading قدرها ١٣٠.

تأثير التعريض للحقل الكهربائى على محاصيل الخضر

أدى تعريض بذور بعض الخضر لحقل كهربائى .a.c فى حدود ١٨– ١٠٥ كيلوفولت/م إلى إسراع إنبات بذور الكرنب الصينى والفجل والخس. كذلك تحسَّن النمو المبكر لبادرات الفجل لدى تعريضها لحقل كهربائى .a.c > ٥٠ كيلو فولت/م (Zhang & Hashinaga ١٩٩٧).

تأثير التعريض لحقل مغناطيسى على محاصيل الخضر

وجد أن معاملة بذور الطماطم قبل زراعتها بوضعها فى حقل مغناطيسى لمدة دقيقة واحدة أسرعت إنباتها وحفزت النمو المبكر للبادرات الناتجة منها (De Souza وآخرون ٢٠١٠).

وقد دُرس تأثير إمرار محلول مغذٍ قياسى خلال حقل مغناطيسى بقوة حوالى ٠,١٥ تسلا Tesla قبل وصوله إلى النباتات، ووجد أن المحصولين المبكر والكلى للطماطم ازدادا نتيجة لتلك المعاملة بنحو ١٠٪، وإن لم تكن تلك الزيادة جوهرية، كما حُصِلَ على نتائج مماثلة فى الخيار (Bartkowski & Nowosielski ١٩٩٦).

كما دُرس تأثير تعريض نباتات الفراولة — هوائيًا — لحقل مغناطيسى ازداد من صفر (كنترول) إلى ٠,٠٩٦، و٠,١٩٢، و٠,٣٨٤ تسلا Tesla، ووجد ما يلى:

١-ازداد محصول النبات ومتوسط وزن الثمرة بزيادة قوة المجال المغناطيسى إلى ٠,٠٩٦ تسلا، ولكن انخفض محصول النبات بزيادة قوة المجال المغناطيسى عن ذلك، بينما كان الانخفاض فى متوسط وزن الثمرة بزيادة قوة المجال المغناطيسى قليلاً.

٢-كان للمجال المغناطيسى تأثيرًا إيجابيًّا على كل من عدد الأوراق، والوزن الطازج والجاف للنمو الجذرى (Esitken ٢٠٠٣).

وأدت معاملة ماء رى مشاتل البصل بجهاز مغنطة كهربائى electromagnetizer ولحقل مغناطيسى مقداره ١٢٠٠-١٥٠٠ Gauss إلى تحسين نمو الشتلات وجعلها أكثر قوة. كذلك أحدثت المعاملة زيادة فى وزن البصلة (من ٦٤,١ إلى ٨٢,٩ جم) وقطرها (من ٥٢,٠ إلى ٥٧,٩ مم) (Fernandes وآخرون ١٩٩٦).

تحديات متنوعة ومقترحات حلول لها

احتراق قمة أوراق الخس

يُعتبر العيب الفسيولوجى: احتراق قمة أوراق الخس lettuce tipburn من المشاكل الكبيرة التى تواجه إنتاج الخس.

يمكن تقليل الإصابة باحتراق قمة الأوراق فى الخس بمراعاة ما يلى:

١-الزراعة فى الجو البارد نسبيًّا.

٢-الزراعة فى الأراضى الثقيلة التى لا تشجع على النمو النباتى السريع.

٣-زراعة الأصناف المقاومة، مثل: مونتيمار Montemar، وكالمار Calmar، وساليناس Salinas، وفانجارد Vanguard. وقد اعتبر صنف خس الرؤوس ذات الأوراق المتقصفة ساليناس Salinas — لفترة طويلة — قياسيًّا فى مقاومته لاحتراق قمة الأوراق. كما يعتبر الصنف Tiber — الذى أنتج حديثًا أكثر مقاومة من ساليناس (Ryder & Waycott ١٩٩٨).

٤-تجنب التسميد الغزير خاصة بالأسمدة الآزوتية.

٥-تجنب كثرة الرى عند اقتراب الرؤوس من النضج.

٦-توفير الكالسيوم للنباتات مع تجنب الإكثار من التسميد بالكاتيونات الأخرى التى تنافس الكالسيوم على الامتصاص. هذا.. إلا أن توفير الكالسيوم فى المراحل المتأخرة من النمو بعد فترة من النقص لا يكون فعّالاً، كما أن الرش بأملاح الكالسيوم بعد التفاف الرؤوس لا يكون مجديًا؛ لأن العنصر لا ينتقل من الأوراق الخارجية التى يصل إليها محلول الرش إلى الأوراق الداخلية التى تكون بحاجة إليه. ومن الطبيعى أن هذه المشكلة لا تظهر فى أصناف الخس التى لا تكون رؤوسًا.

ويعتقد بأن إحلال الماء أو محلول نترات الكالسيوم بتركيز ١٠٠ جزء فى المليون — أثناء الليل — محل المحلول الغذائى فى مزارع تقنية الغشاء المغذى للخس ربما يعد وسيلة مناسبة لخفض الإصابة باحتراق قمة الأوراق (Cresswell ١٩٩١).

٧- توفير الظروف التى تعمل على زيادة الضغط الجذرى ليلاً، مثل:

أ- الرى الجيد.

ب- عدم الزراعة فى الأراضى الملحية.

ج- عدم المغالاة فى التسميد، مع خفض تركيز المحلول المغذى ليلاً فى المزارع المائية.

د- زيادة الرطوبة النسبية ليلاً فى الزراعات المحمية، وتكون لتلك الزيادة أهمية كبيرة فى المراحل الأخيرة من النمو النباتى بعد بدء التفاف الرؤوس.

٨- توفير الظروف التى تعمل على زيادة النتح نهارًا، وهو أمر يمكن التحكم فيه فى الزراعات المحمية بالاهتمام بتهوية البيوت.

٩- تجنب رفع درجة الحرارة، أو زيادة شدة الإضاءة، أو طول فترة الإضاءة فى الزراعات المحمية إلى الحد الذى يؤدى إلى زيادة شدة الإصابة بالظاهرة.

١٠- قد تفيد المعاملة بالسيتوكينينات، خاصة وإنها تنتقل فى النبات عن طريق اللحاء؛ أى إنها يمكن أن تنتقل من الأوراق الخارجية التى تتعرض لمحلول الرش إلى الأوراق الداخلية المغطاة مع الغذاء المجهز.

دور التلقيح بالميكوريزا فى زيادة الفترة الممكنة لإنتاج الخس

يسمح تلقيح الخس بالميكوريزا بامتداد زراعته إلى أوقات لا تناسبه فى غياب الميكوريزا (Baslam وآخرون ٢٠١٣).

دور تلقيح الطماطم بالميكوريزا فى زيادة جودة حبوب اللقاح وتحسين عقد الثمار

وجد أن تلقيح جذور الطماطم بالميكوريزا، أو غنى التربة بالفوسفور الميسر يزيدان من جودة حبوب اللقاح وكمياتها المنتجة؛ مما يزيد من كفاءة عمليتى التلقيح والإخصاب، وكان تأثير الميكوريزا فى هذا الشأن مرده إلى تحسين حصول النبات على الفوسفور (Poulton وآخرون ٢٠٠١).

دور تلقيح البطيخ بلقاح اليقطين فى إنتاج ثمار لا بذرية

يمكن إنتاج بطيخ لا بذرى من الأصناف العادية ثنائية العدد الكروموسومى بتلقيح الأزهار بحبوب لقاح سبقت معاملتها بأشعة إكس، إلاّ إنه يتعين تكييس الأزهار المؤنثة قبل تفتحها لمنع تعرضها للتلقيح الحشرى الطبيعى.

وقد أمكن التوصل إلى طريقة جديدة لإنتاج ثمار بكرية من أى صنف من البطيخ بتلقيح براعمه الزهرية بحبوب لقاح من اليقطين *Lagenaria siceraria*، وبلغ عقد الثمار باتباع تلك الطريقة ٥٧,١٪، بينما كانت النسبة عند التلقيح بحبوب لقاح البطيخ ٦٥٪. ولقد أمكن تخزين حبوب لقاح اليقطين بنجاح على ٤°م لمدة ٧٢ ساعة. كانت الثمار الناتجة جميعها بكرية ومشوهة، إلاّ أن وزن الثمرة وسمك قشرتها ولون لُبها ومحتواه من السكر كان عاديًّا. ولم تظهر بتلك الثمار البكرية أى بذور عادية، ولكن كان بها بذورًا بيضاء صغيرة فارعة. هذا ولم تصل الأنابيب اللقاحية لليقطين إلى بويضات البطيخ؛ بما يعنى أن هذا التلقيح حفَّز العقد البكرى، ولم يكن هذا العقد البكرى كاذبًا، أى إنه لم يحدث pseudogamy (Sugiyama وآخرون ٢٠١٤).

أسباب تدهور مزارع الأسبرجس

ينخفض محصول الأسبرجس – عادة – مع تقدم المزرعة فى العمر، بعد وصولها إلى مرحلة أوج الإنتاج، ويرجع معظم ذلك الانخفاض إلى موت أعداد متزايدة من النباتات. وغالبًا.. لا تنجح زراعة نباتات جديدة فى مكان الجور الغائبة، حتى مع تعقيم التربة.

وقد وجد أن جذور الأسبرجس تفرز مركبًا أو مركبات تكون سامة لكل من النبات ذاته (أى تكون autotoxic) ولبعض الأنواع النباتية الأخرى المجاورة له فى التربة (أى تكون allelopathic). وهذه المركبات تذوب فى الماء ويتبقى مفعولها فى التربة لمدة لا تقل عن ٤ إلى ٦ شهور، وقد تصل إلى ٤ سنوات، ويشاهد تأثيرها على الأسبرجس حينما يُراد استغلال الأرض – التى كانت مشتلاً لإنتاج تيجان الأسبرجس– فى زراعة التيجان لأجل الإنتاج التجارى للمحصول؛ حيث تموت معظم التيجان التى يتم شتلها. وتوجد أدلة على أن هذه المركبات هى المسئولة عن قصر عمر مزرعة الأسبرجس وموت نباتاتها بفعل تأثيرها المباشر على النباتات، وتأثيرها غير المباشر على زيادة حساسيتها للإصابة بفطر الفيوزاريم.

تنطلق تلك المركبات ليس فقط من جذور النباتات النامية، ولكن كذلك من بقايا نباتات الأسبرجس المتحللة فى التربة، ويكون اختفاؤها التدريجى – على مدى أربع سنوات – عن طريق التسرب بالرشح، وبفعل الكائنات الدقيقة التى تعمل على تحللها.

ولقد عزل حامض الأسبراجوزك asparagusic acid ومركبات أخرى قريبة منه من نباتات الأسبرجس ووجد أنها كانت سامة لبعض الأنواع الأخرى (أى كانت allelopathic)، ولكنها لم تكن سامة للأسبرجس ذاته. وأمكن التعرف حديثًا على عدة أحماض سِنَاميكية cinnamic acids عزلت من جذور الأسبرجس، ووجد أنها كانت سامة لكل من الأسبرجس والأنواع الأخرى. ومن أمثلة تلك المجموعة الأخيرة: حامض الكافيك caffeic acid، وحامض الفيرولك ferulic acid، و methylenedioxycinnamic acid.
وقد أحدثت الأحماض السِناميكية تأثيرات ضارة بخلايا القمة النامية لجذير الأسبرجس

وبشرته، وكان حامض الفيرولك أقواها تأثيرًا إلا أن تأثيره كان أشد فى وجود الحامضين الآخرين. وقد تكون الأضرار التى تحدثها الأحماض بخلايا البشرة هى التى تهيئ النباتات للإصابة بالفيوزاريم.

ومن المعروف أن إصابة الريزوم والجذور بفطر الفيوزاريم يُسهم فى تدهور إنتاج مزارع الأسبرجس، كما أمكن التعرف على تفاعل يحدث بين المركبات التى يفرزها النبات وفطر الفيوزاريم؛ حيث إنها تهيئ النباتات لتكون أكثر قابلية للإصابة بالفطر. ويبدو أن تلك المركبات — التى تزيد من تسرب الأيونات — تجعل الأغشية الخلوية أكثر نفاذية، كذلك فإن الجذور المتأثرة بتلك المركبات ينخفض فيها نشاط إنزيم البيروكسيديز؛ مما يجعلها أكثر قابلية للإصابة كذلك. وأخيرًا.. فإن الخلايا المتأثرة بالمركبات ينخفض فيها معدل التنفس عما فى الخلايا الأخرى؛ بما يعنى انخفاض نشاطها الأيضى. وربما يزداد نشاط فطر الفيوزاريم بفعل المركبات التى تتسرب من الجذور.

وتتفاقم مشكلة الإصابة بالفيوزاريم فى النباتات التى تتعرض للشدِّ الرطوبى، وكذلك مع استمرار موت الجذور التى يزيد معها انطلاق المواد السامة التى تؤثر على الجذور المجاورة لها وتجعلها أكثر قابلية للإصابة بالفطر، لتموت هى الأخرى.. وهكذا إلى أن يموت النبات كله. وعند زراعة بذور أو شتلات أو تيجان جديدة فى مكان الجور الغائبة فإن تركيز المواد السامة يكون عاليًا إلى درجة تؤدى إلى موت البادرات أو النباتات الجديدة المزروعة خلال فترة قصيرة (عن Drost ١٩٩٧).



مصادر الكتاب

الإدارة العامة للتدريب – وزارة الزراعة – جمهورية مصر العربية (١٩٨٣). إنتاج الخضر وتسويقها. القاهرة – ٤٢٢ صفحة.

بوراس، متيادى (١٩٨٥). خضار خاص. الزراعة المحمية، الجزء النظرى. جامعة دمشق – دمشق – ٣٢٢ صفحة.

جريبين، جون (١٩٩٢). ظاهرة الصوبة: تزايد دفء الغلاف الجوى للكرة الأرضية. ترجمة أحمد مستجير. الهيئة المصرية العامة للكتاب – القاهرة – ٣١٣ صفحة.

حبيب، إبراهيم محمد، وسمير عبد الوهاب أبو الروس، والشربينى عبد الرحمن أبو الحسن (١٩٩٣). الزراعات المحمية. التعليم المفتوح – جامعة القاهرة – ٤٣٨ صفحة.

حسن، أحمد عبد المنعم (٢٠١٣). تربية النبات لتحمل الظروف البيئية القاسية. الدار العربية للنشر والتوزيع – القاهرة – ٥٤٤ صفحة.

حسن، أحمد عبد المنعم (٢٠١٥). أساسيات وتكنولوجيا إنتاج الخضر. الدار العربية للنشر والتوزيع – القاهرة – ٩٦٨ صفحة.

عبد الحميد، أحمد فوزى (١٩٩١). دور العناصر الصغرى فى زيادة إنتاج المحاصيل الحقلية والبستانية فى مصر فى: محمد مصطفى الفول (محرر) "وقائع الندوة السورية المصرية للعناصر الصغرى فى التربة والنبات: ٩–١٣ يونيو ١٩٩٠"، صفحات ٤٧–٥٦. دمشق – الجمهورية العربية السورية.

Abbas, W., M. Ashraf, and N.A. Akram. 2010. Alleviation of salt-induced adverse effects in eggplant (*Solanum melongena* L.) by glycinebetaine and sugarbeet extracts. Sci. Hort. 125 (3): 188-195.

Abdel-Gawad, H. A. and H. J. Ketellappert. 1969. Regulation of growth, flowering and senescence of squash plants. I. Effect of root-zone temperature. II. Effect of 2- chloroethylphosphonic acid (Ethrel) and abscisic acid. Plant Physiol. 44 (suppl.):14,15 (Abst. Only).

Abd El-Hafez, A. E. and S. F. Shehata. 2001. Field evaluation of yeasts as a biofertilizer for some vegetable crops. Arab Universities Journal of Agricyltural Sciences 9 (1): 169-182.

Abdelhamid, M. T., M. M. Rady, A. S. Osman, and M. A. Abdalla. 2013. Exogenous application of proline alleviates salt-induced oxidative stress in *Phaseolus vulgaris* L. plants. J. Hort. Sci. Biotechnol. 88 (4): 439-446.

Abdel Latif, A. A. and C. X. He. 2011. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. Sci. Hort. 127: 228-233.

Abdelmageed, A. H. A. and N. Gruda, 2013. Influence of grafting on growth, development and some physiological parameters of tomatoes under controlled heat stress conditions. Europ. J. Hort. Sci. 78.

Aboul-Nasr, A. 1998. Effects of inoculation with *Glomus intraradices* on growth, nutrient uptake and metabolic activities of squash plants under drought stress conditions. In: Proceedings, Seventh conference of agricultural development research. Ann. Agr. Sci. (Cairo) Special issue, Vol. 1: 119-133.

Adams, P. 1986. Mineral nutrition, pp. 281-334. In: J. G. Atherton and J. Rudich (eds). The tomato crop. Chapman and Hall, London.

Adams, P. 1991. Effect of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwell. J. Hort. Sci. 66: 201-207.

Adams, P. and L. C. Ho. 1989. Effects of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. J. Hort. Sci. 64: 725-732.

Adams, P. and L. C. Ho. 1995. Differential effects of salinity and humidity on growth and Ca status of tomato and cucumber grown in hydroponic culture. Acta Hort. 401: 357-363.

Adani, F., P. Genevini, P. Zaccheo, and G. Zocchi. 1998. The effect of commercial humic acid on tomato plant growth and mineral nutrition. J. Plant Nutr. 21 (3): 561-575.

Adisarwanto, T. W. 1993. Tuber formation of different potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars at high temperatures. Agrivita 16 (1): 38-42. c.a. Field Crops Abstr. 47 (1): 455; 1994.

Agbicodo, E. M. et al. 2009. Breading drought tolerant cowpea: constraints, accomplishments, and future prospects. Euphytica 167: 353-390.

Agehara, S. and D. I. Leskovar. 2012. Characterizing concentration effects of exogenous abscisic acid on gas exchange, water relations, and growth of muskmelon seedlings during water stress and rehydration. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 137 (6): 400-410.

Agehara, S. and D. L. Leskovar. 2014. Age-dependent effectiveness of exogenous abscisic acid in height control of bell pepper and jalapeno transplants. Sci. Hort. 175: 193-200.

Agrawal, M., D. T. Krizek, S. B. Agrawal, G. F. Kramer, E. H. Lee, R. M. Mirecki, and R. A. Rowland. 1993. Inffuence of inverse day/night temperature on ozone sensitivity and selected morphological and physiolorical responses of cucumber. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118 (5): 649-654.

Ahmed, P., M. Sarwat, and S. Sharma. 2008. Reactive oxygen species, antioxidants and signaling in plants. J. Plant Biol. 51 (3): 167-173.

Ahsan, N. et al. 2007. A comparative proteomic analysis of tomato leaves in response to water logging stress. Phys. Plant. 131 (4): 555-570.

Ainsworth, E. A. and D. R. Ort. 2010. How do we improve crop production in a warming world?. Plant Physiol. 154: 526-530.

Akef, U., E. Rinadelli, J. A. Menge, E. L. V. Johnson, and E. Pond. 1990. Mycorrhizal species, root age, and position of mycorrhizal inoculation influence colonization of cotton, onion, and pepper seedlings. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115: 938-942.

Alarcón, J. J., M. C. Bolarin, M. J. Sánchez-Blanco, and A. Torrecillas. 1994. Growth, yield and water relations of normal fruited and cherry tomato cultivars irrigated with saline water. J. Hort. Sci. 69 (2): 283-288.

Al-Harbi, A. R. 1995. Growth and nutrient composition of tomato and cucumber seedlings as affected by sodium chloride salinity and supplemental calcium. J. Plant Nutr. 18 (7): 1403-1416.

Al-Harbi, A. R. and S. W. Burrage. 1993a. Effect of root temperature and Ca level in the nutrient solution on the growth of cucumber under saline conditions. Acta Hort. No. 323: 61-73.

Al-Harbi, A. R. and S. W. Burrage. 1993b. Effect of NaCl salinity on growth of cucumber *Cucumis sativus* L. grown in NFT. Acta Hort. No. 323: 39-50.

Al-Karaki, G. N. 2002. Field response of garlic inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi to phosphorus fertilization. J. Plant Nutr. 25 (4): 747- 756.

Al-Karaki, G. N. 2006. Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water. Sci. Hort. 109 (1) : 1-7.

Allison, L. E. 1964. Salinity in relation to irrigation. Adv. Agron. 16: 139-180.

Almekinders, C. J. M. and P. C. Struik. 1994. Photothermal response of sympodium development and flowering in potato (*Solanum tuberosum* L.) under controlled conditions. Netherlands J. Agric. Sci. 42 (4): 311-329.

Aloni, B. and G. Rosenshtein. 1982. Effect of flooding on tomato cultivars: the relationship between proline accumulation and ather morphological and physiological changes. Physiol. Plant. 56: 513-517.

Aloni, B., L. Karni, and H. Aktas. 2010. Methylene blue increases the tolerance of tomato plants to abiotic stresses. J. Hort. Sci. Biotechnol. 85 (5): 387-393.

Al-Sheikh, A. A. and A. M. Al-Darby. 1996. The combined effect of soil gel-conditioner and irrigation water quality and level on: II. Growth, productivity and water use efficiency of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in sandy soils. Arab Gulf J. Sci. Res. 14 (3): 767-793.

American Society for Horticultural Science. 1981. Adaptation to water stress in plants. HortScience 16: 23-38.

Amin, A. A., F. A. E. Gharib, M. El-Awadi, E. M. Rashad. 2011. Physiological response of onion plants to foliar application of putrescine and glutamine. Sci. Hort. 129: 353-360.

An, P., S. Inanaga, X. J. Li, A. E. Eneji, and N. W. Zhu. 2005. Interactive effects of salinity and air humidity on two tomato cultivars differing in salt tolerance. J. Plant Nutr. 28 (3): 459-473.

Anderson, J. A. 1998. Ice-nucleating activity of seedlings of six tomato cultivars. HortScience 23: 1044-1045.

Anderson, J. W., D. W. Buchanan, R. E. Stall, and C. B. Hall. 1982. Frost injury of tender plants increased by *Pseudomonas syringae* van Hall. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107 (1): 123-125.

Andrade, G., R. Azcón, and G. J. Bethlenfalvay. 1995. A rhizobacterium modifies plant and soil responses to mycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. Appl. Soil Ecol. 2 (3): 195-202.

Andrade, J. L., A. Larqué-Saavedra, and C. L. Trejo. 1995. Proline accumulation in leaves of four cultivars of *Phaseolus vulgaris* L. with different drought resistance (Buenos Aires) 57 (2): 149-157.

Antonelli, F., D. Grifoni, F. Sabatini, and G. Zipoli. 1997. Morphological and physiological responses of bean plants to supplemental UV radiation in a Miditerranean climate. Plant Ecol. 128 (1/2): 127-136.

Arao, T., H. Takeda, and E. Nishihara. 2008. Reduction of cadmium translocation from roots to shoots in eggplant (*Solanum melongena*) by grafting onto *Solanum torvum* rootstock. Soil Sci. Plant Nutr. 54 (4): 555-559.

Archer, J. 1985. Crop nutrition and fertilizer use. Farming Pr. Ltd., Suffolk, England. 258 p.

Arshad, M. and W. T. Frankenberger, Jr. 1998. Plant growth-regulating substances in the rhizosphere: microbial production and functions. Adv. Agron. 62: 45-151 .

Ashmore, M. R. and F. M. Marshall. 1999. Ozone impacts on agriculture: an issue of global concern. Adv. Bot. Res. 29: 31-52.

Ashraf, M. and N. Akram. 2009. Improving salinity tolerance of plants through conventional breeding and genetic engineering: an analytical comparison. Biotechnol. Adv. 27: 744-752.

Ashraf, M. and M. R. Foolad. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Env. Exp. Bot. 59: 206-216.

Ashraf, M. and P. J. C. Harris. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Sci. 166: 3-16.

Ashworth, E. N. 1986. Freezing injury in horticultural crops - research opportunities. HortScience 21: 1325-1328.

Ashworth, E. N. and G. A. Davis. 1984. Ice nucleation within peach trees. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109: 198-201.

Atiyeh, R. M., S. Lee, C. A. Edwards, N. Q. Arancon, and J. D. Metzger. 2002. The Influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. Bioresource Technology 48 (1): 7-14.

Atkin, O. K. and D. Macherel. 2008. The crucial role of plant mitochondria in orchestrating drought tolerance. Ann. Bot. 103 (4): 581-597.

Atsmon, D., A. Lang, and E. N. Light. 1968. Contents and recovery of gibberellins in monoecious and gynoecious cucumber plants. Plant Physiol. 43: 806-810.

Atta-Aly, M. A. 1998. Soaking summer squash seeds in low concentrations of cobalt solution before sowing increased plant growth, femaleness, and fruit yield via increasing plant ethylene level. J. Plant Growth Reg. 17: 25-32.

Atta-Aly, M. A. and J. K. Brecht. 1999. Rising basal ethylene in summer squash hybrid plants by pre-sowing seed soaking in low levels of cobalt or aminocyclopropane carboxylic acid solutions increased plant growth, femaleness and fruit yield. Egypt. J. Appl. Sci. 14 (9): 282-300.

Atta-Aly, M. A., G. S. Riad, Z. El-S. Lacheene, and A. S. El-Beltagy. 1999. Early application of ethrel extends tomato fruit cell division and increases fruit size and yield with ripening delay. J. Plant Growth Regulation 18: 15-24.

Audus, L. J. 1972. (3rd ed.) Plant growth substabces. Vol. 1: Chemistry and physiology. Leonard Hill. London. 533 p.

Augustine, J. J., L. R. Baker, and H. M. Sell. 1973. chemical reversion of sex expression on dioecious cucumber with ethephon and a benzothiadiazole. Hortscience 8: 218-219.

Augustine, J. J., L. R. Baker, and H. M. Sell. 1973. Female flower induction on androecious cucumber, *Cucumis sativus* L. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 98: 197-199.

Aung, L. H. 1979. Temperature regulation of growth and development of tomato during ontogeny, pp. 79-93. In: Proceedings of the 1st International Symposium on tropical tomato. Asian Veg. Res. Dev. Center, Shanhua, Taiwan.

Austin, R. B. 1989. Prospects for improving crop production in stressful environments. In: H. G. Jones, T. J. Flowrs, and M. B. Jones (Eds). "Plants Under Stress"; pp. 235-248. Cambridge University Press, Cambridge.

Avery, G. S., Jr., E. B. Johnson, R. M. Addoms, and B. F. Thompson. 1947. Hormones and horticulture. McGraw-Hill Book Co., N. Y. 326 p.

Avigdori-Avidov, H. 1986. Strawberry, pp. 419-448 In: S. P. Monselise (ed). CRC handbook of fruit set and development. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

Awang, Y. B. J. G. Atherton, and A. J. Taylor. 1993. Salinity effects on strawberry plants grown in rockwool. II. Fruit quality. J. Hort. Sci. 68 (5): 791-795.

Ayers, R. S. and D. W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29 Rev. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 174 p.

Azam, A., I. Khan, A. Mahmood, and A. Hameed. 2013. Yield, chemical composition and nutritional quality responses of carrot, radish and turnip to elevated atmospheric carbon dioxide. J. Sci. Food Agric. 93 (13): 3237-3244.

Azcón-Aguilar, C., C. Alba, M. Montilla, and J. M. Barea. 1993. Isotopic (^{15}N) evidence of the use of less available N forms by VA mycorrhizas. Symbiosis (Rehovot) 15(1-2): 39-48. c.a. Hort. Abstr. 1994, 64 (6): 4438.

Babu, R. S. H., D. Lokeshwar, N. S. Rao, and B. R. B. Rao. 1988. The response of chili (*Capsicum annuum* L.) plants to early inoculation with myrcorrhizal fungi at different levels of phosphorus. J. Hort. Sci. 63: 315-320.

Bacci, L., D. Grifonic, F. Sabatini, and G. Zipoli. 1999. UV-B radiation causes early ripening and reduction in size of fruits in two lines of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Global Change Biology 5 (6): 635-646.

Badia, D. and A. Meiri. 1994. Tolerance of two tomato cultivars (*Lycopersicon esculentum* Mill.) to soil salinity during emergence phase. Agricoltura Mediterranea 124 (4): 301-310. c. a. Hort. Abstr. 65: 7077; 1995.

Bae, Y. S., S. S. Jang, C. S. Park, and H. K. Kim. 1995. *In vitro* and greenhouse evaluation of cucumber growth enhanced by rhizosphere microorganisms. Korean J. Plant Pathol. 11 (4): 292-297.

Baixauli, C. et al. 2007. Interaction between cultivar and gibberellic acid concentration in seed propagated artichoke. Acta Hort. No. 730: 165-170.

Balba, A. M. 1995. Management of problem soil in arid ecopystems. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. 250 p.

Ball, V. (Ed.). 1985. (14th ed.). Ball red book: greenhouse growing. Reston Pub. Co., Reston, Virginia. 720 p.

Bandara, P. M. S. and K. K. Tanino. 1995. Paclobutrazol enhances minituber in Norland potatoes. J. Plant Growth Reg. 14 (3): 151-155.

Baninasab, B. 2009. Amelioration of chilling stress by paclobutrazol in watermelon seedlings. Sci. Hort. 121 (2): 144-148.

Baninasab, B. 2010. Induction of drought tolerance by salicylic acid in seedling of cucumber (*Cucumis sativus* L.). J. Hort. Sci. Biotechnol. 85 (3): 191-196.

Bano, F., T. Mahmoud, S. M. Shah, and M. R. Awan. 1987. Trials to enhance salt tolerance of tomato cultivars at germination stage using choline chloride. Pakistan J. Agric. Res. 8: 195-198.

Barassi, C. A., G. Ayrault, C. M. Creus, R. J. Sueldo, and M. T. Sobrero. 2006. seed inoculation with *Azospirillum* mitigates NaCl effects on lettuce. Sci. Hort. 109 (1): 8-14.

Barbagallo, R., N. Riccardo, M. Chisari, F. Branca, and G. Spagna. 2008. Pectin methylesterase, polyphenol oxidase and physicochemical properties of typical long-storage cherry tomatoes cultivated under water stress regime. J. Sci. Food Agr. 88 (3): 389-396.

Bartholdi, W. L. 1942. Influence of flowering and fruiting on vegetative growth and tuber yield in potato. Minn. Agric. Exp. Sta. Tech. Bull. 150.

Bartkowski, K. and O. Nowosielski. 1996. Influence of magnetic field on vegetable crops in soilless culture, pp. 51-59. In: Proceedings of the 9th International Congress on Soilless Culture. International Society for Soilless Culture. c. a. Hort. Abstr. 68: Abstr. 2236; 1998.

Bartolo, M. E. and F. C. Schweissing. 1998. Yield and quality response of muskmelon to simulated storm damage. HortScience 33 (1): 34-35.

Basiouny, F. M., K. Basiouny, and M. Maloney. 1994. Influence of water stress on abscisic acid and ethylene production in tomato under different PAR levels. J. Hort. Sci. 69 (3): 535-541.

Balsam, M., I. Garmendia, and N. Goicoechea. 2013. The arbuscular mycorrhizal symbiosis can overcome reductions in yield and nutritional quality in greenhouse lettuces cultivated at inappropriate growing seasons. Sci. Hort. 164: 145-154.

Batool, A., M. Ashraf, N. A. Akram, and F. Al-Qurainy. 2013 Salt-induced changes in the growth, key physiological and biochemical parameters, enzyme activities, and levels of non-enzymatic anti-oxidants in cauliflower (*Brassica oleracea* L.). J. Hort. Sci. Biotechnol. 88 (2): 231-241.

Behnamnia, M., Kh. M. Malantari, and F. Rezanejad. 2009. Exogenous application of brassinosteroid alleviated drought-induced oxidative stress in *Lycopersicon esculentum* L. General and Applied Plant Physiology 35 (1-2): 22-34.

Belakbir, A. et al. 1996. Effect of bioregulators on the concentration of carbohydrates in perpper fruits. Communications is soil Science and Plant Analysis 27 (5-8): 1013-1025. c. a. Hort. Abstr. 66: 8638; 1996.

Belakbir, A., J. M. Ruiz, and L. Romero. 1998. Yield and fruit quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) in response to bioregulators. HortScience 33 (1): 85-87.

Benjamin, W. 1996. Diagnostic techniques for improving crop production. Food Products Prees, New York. 426 p.

Benlloch, M., M. A. Ojeda, J. Ramos, and A. Rodriquez-Navarro. 1994. Salt sensitivity and low discrimination between potassium and sodium in bean plants. Plant and Soil 166 (1): 117-123.

Bhattacharya, A. and S. Tokumasu. 1970. Effect of gibberellin upon sex expression and internode length in gynoecious and monoecious cucumber. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 39: 224-231. c. a. Plant Breed. Abstr. 42: 3803; 1972.

Bittelli, M., M. Flury, G. S. Campbell, and E. J. Nichols. 2001. Reducation of transpiration through foliar application of chitosan. Agr. Forest Meteorol. 107 (3): 167-175.

Black, B. L. 2004. Prohexadione-calcium decreases fall runners and advances branch crowns of 'Chandler' strawberry in a cold-climate annual production system. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129 (4): 479-485.

Black, B. L. 2006. Strawberry runner suppression with prohexadione-calcium. Acta Hort. No. 708: 249-252.

Black, K. G., D. T. Mitchell, and B. A. Osborne. 2000. Effect of mycorrhizal-enhanced leaf phosphate status on carbon partitioning, translocation and photosynthesis in cucumber. Plant, Cell and Environment 23 (8): 797-809.

Blankenship, S. M. and J. Kemble. 1996. Growth, fruiting and ethylene binding of tomato plants in response to chronic ethylene exposure. J. Hort. Sci. 71 (1): 65-69.

Blom-Zandstra, M., S. A. Vogelzang, and B. W. Veen. 1998. Sodium fluxes in sweet pepper exposed to varying concentrations. J. Exp. Bot. 49 (328): 1863-1868.

Blum, A. 1989. Breeding methods for drought resistance. In H. G. Jones, T. J. Flowers, and M. B. Jones (Eds) "Plants Under Stress"; pp. 197-215. Cambridge Univ. Pr., Cambridge.

Blum, A. 2007. Mitigation of drought stress. www.plantastress.com.

Blum, A. 2009. Effective use of water use (EUW) and not water-use efficiency is the target of crop yield improvement under drought stress. Field Crops Research 12: 119-123.

Blunden, G., T. Jenkins, and Y. W. Liu. 1996 Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract. Journal of Applied Phycology 8 (6): 535-543.

Bodlaender, K. B. A. 1960a. Influence of temperature, radiation and photoperiod on development and yield, pp. 199-210. In: F. L. Milthorpe and J. D. Ivins (eds.). The growth of the potato. Butterworths, London.

Bodlaender, K. B. A. 1960b. The influence of temperature on the development of potato. Jaarb. Inst. Biol-Scheik. Onderz-Landb Gew. 69-83. c. a. Field Crop Abstr. 14: 1316; 1961.

Boese, S. R., D. W. Wolfe, and J. J. Melkonian. 1997. Eleveted CO_2 mitigates chilling-induced water stress and photosynthetic reduction during chilling. Plant, Cell and Environment 20 (5): 625-632.

Bohme. M. 1999. Effects of lactate, humate and *Bacillus subtilis* on the growth of tomato plants in hydroponic systems. Acta Hort. No. 481: 231-239.

Bohme, M., A. Ouahid, and N. Shaban. 2000. Reaction of some vegetable crops to treatments with lactate as bioregulator and fertilizer. Acta Hort. No. 514: 33-40.

Bolandnazar, S., N. Aliasgarzad, M. R. Neishabury, and N. Chaparzadeh. 2007. Mycorrhizal colonization improves onion (*Allium cepa* L.) yield and water use efficiency under water deficiet condition. Sci. Hort. 114 (1): 11-15.

Bolarin, M. C., F. Pérez-Alfocea, E. A. Cano, M. T. Estañ, and M. Caro. 1993. Growth, fruit yield, and ion concentration in tomato genotypes after pre- and post-emergence salt treatments. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118 (5): 655-660.

Bolton, E. F. and A. E. Erickson. 1970. Ethanol concentration in tomato plants during soil flooding. Agronomy J. 62 (2): 220-224.

Borah, M. N. and F. L. Milthorpe. 1962. Growth of the potato as influenced by temperature. Indian J. Plant Physiol. 51: 53-72.

Borghesi, E., G. Carmassi, M. C. Uguccioni, P. Vernieri, and F. Malorgio. 2013. Effects of calcium and salinity stress on quality of lettuce in soilless culture. J. Plant Nutr. 36 (5): 677-690.

Botella, F., J. A. del Rio, and Ortuño. 1993. Effect of saline stress on growth of *Lycopersicon esculentum* plants and its relation with endogenous metabolism, pp. 253-254. In: J. C. Pech, A. Latche, and C. Balague (eds.). Cellular and molecular aspects of the plant hormone ethylene. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

Botia, P., J. M. Navarro, A. Cerdá, and V. Martinez. 2005. Yield and fruit quality of two melon cultivars irrigated with saline water at different stages of development. Europ. J. Agron. 23: 243-253.

Bradbury, M. and R. Ahmad. 1996. Effect of humidity on growth of lettuce (*Lactuca sativa*, var. *Great Lakes*) under saline condition. Pakistan J. Bot. 28 (1): 97-102.

Bradford, K. J. and D. R. Dilley. 1978. Effects of root anaerobiosis on ethylene production, epinasty, and growth of tomato plants. Plant Physiology 61: 506-509.

Bradford, K. J. and S. F. Yang. 1981. Physiological responses of plants to waterlogging. HortScience 16: 25-30.

Branson, R. L. 1983. Soluble salts, exchangeable sodium, and boron in soils. In: H. M. Reisenauer (ed.). Soil and plant-tissue testing in California, pp. 43-47. Univ. Calif., Div. Agr. Sci. Bul. 1879.

Branson, R. L. and M. Fireman. 1980. Gypsum and other chemical amendments for soil improvement. University of California, Division of Agricultural Science, Leaflet No. 2149. 8 p.

Brewster, J. L. 1994. Onions and other vegetable alliums. CAB International, Wallingord, U. K. 236 p.

Brüggemann, W., T. A. W. van der Kooij, and P. R. van Hasset. 1992a. Long-term chilling of young tomato plants under low light and subsequent recovery. I. Growth, development and photosynthesis. Planta 186 (2): 172-178.

Brüggemann, W., T. A. W. van der Kooij, and P. R. van Hasset. 1992b. Long-term chilling of young tomato plants under low light and subsequent recovery. II. Chlorophyll foluorescence, carbon metabolism and ativity of ribulose-1,5-biphosphate carboxylase / oxygenase. Planta 1986 (2): 179-186.

Bruijn, S. M. de, C. J. J. Buddendorf, and D. Vreugdenhil. 1993. Characterization of the ABA-deficient *Pisum sativum* 'wilty' mutant. Acta Bot. Neerlandica. 42 (4): 491-503. c. a. Hort. Abstr. 1994, 64: 8193.

Bryan, H. H. 1970. Concentrating tomato maturity with growth regulators. Proc. Fla State Hort. Soc. 83: 123-126.

Burger, K. H. 1993. Hail insurance for potatoes. Quantitative and qualitative aspects. (In German). Kar toffelbau 44 (3): 112, 117-119. c. a. Field Crop Abstr. 47: 6610; 1994.

Burton, W. G. 1948. The potato. Chapman and Hall, London. 319 p.

Bushnell, J. 1925. The relation of temperature to growth and respiration in the potato plant. Minn. Agric. Exp. Sta. Res. Bull. 34.

Cachorro, P., A. Ortiz, and A. Cerda. 1993. Effects of saline stress and calcium on lipid composition in bean roots. Phytochemistry 32 (5): 1131-1136. c.a. Hort. Abstr. 1995, 65: 354.

Cachorro, P., A. Ortiz, and A. Cerda. 1993. Growth, water relations and solute composition of *Phaseolus vulgaris* L. under saline conditions. Plant Sci. (Limerick) 95 (1): 23-29.

Caesar, K. and H. Krug. 1965. The effect of daylength on potato (*Solanum tuberosum* L.) yield in low latitudes. (In German). Europ. Potato J. 8: 28-32.

Caines, A. M. and C. Shennan. 1999. Interactive effects of Ca^{2+} and NaCl salinity on the growth of two tomato genotypes differing in Ca^{2+} use efficiency. Plant Physiol. Biochem. 37 (7/8): 569-576.

Cakmakci. R., M. Erat, B. Oral, U. Erdogan, and F. Sahin. 2009. Enzyme activities and growth promotion of spinach by indol-3-acetic acid-producing rhizobacteria. J. Hort. Sci. Biotechnol. 84 (4): 375-380.

Calatagud, A. and E. Barreno. 2000. Foliar spraying with zineb increases fruit productivity and alleviate stress in two tomato cultivars. Phytoparasitica 38 (1): 149-154.

Camacho, M. et al. 2001. Co-inoculation with *Bacillus* sp. CECT 450 improves nodulation in *Phaseolus vulgaris* L. Canad. J. Microbiol. 47 (11): 1058-1062.

Cano, E. A., M. C. Bolarin, F. Perez-Alfocea, and M. Caro. 1991. Effect of NaCl priming on increased salt tolerance in tomato. J. Hort. Sci. 66: 621-628.

Cantliffe, D. J. 1981. Alteration of sex expression in cucumber due to change in temperature, light intensity, and photoperiod. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106: 133-136.

Cantliffe, D. J. 1991. Benzyladenine in the priming solution reduces thermodormancy of lettuce seeds. HortTechnology 1: 95-97.

Cantliffe, D. J. and Y. Abebe. 1993. Priming 'Solarset' tomato seeds to improve germination at high temperature. Proc. Fla State Hort. Soc. 106: 177-183.

Cantliffe, D. J. and P. Goodwin. 1975. Red color enhancement of pepper fruits by multiple applications of ethophon. J. Amer Soc. Hort. Sci. 100: 157-161.

Cantliffe, D. J. and A. F. Omran. 1981. Alteration of sex expression in cucumber by partial or total removal of cotyledons. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 106: 303-307.

Cantliffe, D. J. and R. W. Robinson. 1971. Response of cucumber to soil application of (2-chloroethyl) phosphonic acid. HortScience 6: 336-337.

Cantrell, I. C. and R. G. Linderman. 2001. Preinoculation of lettuce and onion with VA mycorrhizal fungi reduces deleterious effects of soil salinity. Plant and Soil 233 (2): 269-281.

Cao, W. and T. W. Tibbitts. 1994. Phasic temperature change patterns affect growth and tuberization in potatoes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119 (4): 775-778.

Carbonell Barrachina, A., F. Burló Carbonell, and Mataix Beneyto. 1995a. Arsenic uptake, distribution and accumulation in tomato plants: human health risk. Fresenius Env. Bul. 4 (7): 395-400. c.a. Hort. Abstr. 65: 9861; 1995.

Carbonell Barrachina, A., F. Burló Carbonell, and J. Mataix Beneyto. 1995b. Arsenic uptake, distribution and accumulation in tomato plants: effect of arsenite on plant growth and yield. J. Plant Nutr. 18 (6): 1237-1250.

Caro, M., V. Cruz, J. Cuartero, M. T. Estan, and M. C. Bolarin. 1991. Salinity tolerance of normal-fruited and cherry tomato cultivars. Plant and Soil 136: 249-253.

Carter, A. K. and R. Stevens. 1998. Using ethephon and G A_3 to overcome thermoinhibition in 'Jalapeno M' perpper seed. HortScience 33: 1026-1027.

Cary, J. W. and S. E. Lindow. 1986. The effect of leaf water variables on ice nucleating *Pseudomonas syringae* in beans. HortScience 21: 1417-1418.

Casas Diaz, A. V., J. D. Hewitt, and D. Lupushnner. 1987. Effects of parthenocarpy on fruit quality in tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 634-637.

Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change. 2007 Growth response to CO_2 with other variables (disease) – summary. CO_2 Science. The Internet.

Cervilla, L. M., B. Blasco, J. J. Rios, L. Romero, and J. M. Ruiz. 2007. Oxidative stress and antioxidants in tomato (*Solanum lycopersicum*) plants subjected to boron toxicity. Annals of Botany 100 (4): 747-756.

Cervilla, L. M. et al. 2009. Involvement of lignification and membrane permeability in the tomato root response to boron toxicity. Plant Sci. 176 (4): 545-552.

Chabot, R., H. Antoun, J. W. Kloepper, and C. J. Beauchamp. 1996. Root colonization of maize and lettuce by bioluminescent *Rhizobium leguminosarum* biovar phaseoli. Appl. Environ. Microbiol. 62 (8): 2767-2772.

Chakraborty, S. and C. Newton. 2011. Climate change, plant diseases and food security: an overview. Plant Pathol. 60: 2-14.

Chang, P. T. and W. M. Randle. 2005. Sodium chloride timing and length of exposure affect onion growth and flavor. J. Plant Nutr. 28 (10): 1755-1766.

Charles, W. B. and R. E. Harris. 1972. Tomato fruit set at high and low temperatures. Canad. J. Plant Sci. 52: 497-506.

Chartzoulakis, K. S. 1991. Effects of saline irrigation water on germination, growth and yield of greenhouse cucumbers. Acta Hort. No. 287: 327-334.

Chartzoulakis, K. S. 1992. Effects of NaCl salinity on germination, growth and yield of greenhouse cucumbers. J. Hort. Sci. 67: 115-119.

Chartzoulkais, K. S. 1994. Photosynthesis, water relations and leaf growth of cucumber exposed to salt stress. Sci. Hort. 59 (1): 27-35.

Chartzoulakis, K. S. 1995. Salinity effects on fruit quality of cucumber and eggplant. Acta Hort. No. 379: 187-192.

Chávez, MC. G. and R. Ferrera-Cerrato. 1990. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae on tissue culture-derived plantlets of strawberry. HortScience 25 (8): 903-905.

Chen, T. H. H. and N. Murata. 2008. Glycienbetaine: an effective protectant against abiotic stress in plants. Trends in Plant Science 13 (9): 499-506.

Chen, Z. et al. 2005. Screening plants for salt tolerance by measuring K^+ flux: a case study. Plant, Cell and Environment 28: 1230-1240.

Cheng, S. C., X. L. Ren, and Q. M. Guan. 2005. Nitric oxide (NO) and plant stress. Research of soil and water conservation 12 (3): 91-94, 98.

Chibu, H. and H. Shibayama. 1999. Effects of chitosan application on shoot growth of several crop seedlings. Marine & Highland Bioscience Center Report 9: 15-20.

Choe, J. S., Y. C. Um, K. H. Kang, and W. S. Lee. 1994. The effects of night temperature and duration of the nursery period on the quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings (In Korean with English summary). J. Korean Soc. Hort. Sci. 35 (1): 1-11. c.a. Hort. Abstr. 65: 10777; 1995.

Choi, C. Y., W. Zimmt, and G. Giacomelli. 1999. Freeze and frost protection with aqueous foam – foam development. HortTechnology 9 (4): 654-661.

Chrispeels. M. J. and D. E. Sadava. 1994. Plants, genes, and agriculture. Jones and Bartlett Publishers, Boston. 478 p.

Clarke, J. M. and T. F. Townley-Smith. 1984. Screening and selection techniques for improving drought resistance, pp. 137-162. In: P. B. Vose and S. G. Blixt (eds). Crop breeding: a contemporary basis. Pergamon Press, N. Y.

Cliff, M. A., J. B. Li, P. M. A. Toivonen, and D. L. Ehret. 2012. Effects of nutrient solution electrical conductivity on the compositional and sensory characteristics of greenhouse tomato fruit. Postharvest Biol. Technol. 74: 132-140.

Colla, G., Y. Rouphael, M. Cardarelli, and E. Rea. 2006. Effect of salinity on yield, fruit quality, leaf gas exchange, and mineral composition of grafted watermelon plants. HortScience 41 (3): 622-627.

Colla, G., Y. Rouphael, C. Fallovo, M. Cardarellia, and A. Graifenberg. 2006. Use of *Salsola soda* as a companion plant to improve greenhouse pepper (*Capsicum annuum*) performance under saline conditions. New Zealand J. Crop Hort. Sci. 34: 283-290.

Colla, G. et al. 2006. Yield, fruit quality and mineral composition of grafted melon plants grown under saline conditions. J. Hort. Sci. Biotechnol. 81 (1): 146-152.

Colla, G., Y. Rouphael, C. Leonardi, and Z. Bie. 2010 Role of grafting in vegetable crops grown under saline conditions. Sci. Hort. 127: 147-155.

Colla, G. et al. 2013. The effectiveness of grafting to improve NaCl and $CaCl_2$ tolerance in cucumber. Sci. Hort. 164: 380-391.

Commonwealth Mycological Institute. 1983. Plant pathologist's pocketbook. Commonwealth Mycological Institute, Kew Surrey, England. 439 p.

Conrad, R. S. and F. J. Sundstrom. 1987. Calcium and ethephon effects on Tabasco pepper leaf and fruit retention and fruit color development. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 424-426.

Coons, J. M., R. O. Kuehl, N. F. Obeker, and N. R. Simons. 1989. Seed germination of seven pepper cultivars at constant or alternating high temperatures. J. Hort. Sci. 64: 705-710.

Copeman, R. H., C. A. Martin, and J. C. Stutz. 1996. Tomato growth in response to salinity and mycorrhizal fungi from saline soils. HortScience 31 (3): 341-344.

Cornillon, P. and A. Palloix. 1995. Impcat of substrate salinity and root temperature on pepper growth and nutrition. Fruits (Paris) 50 (6): 421-426, 469-471. c.a. Hort. Abstr. 67 (4): 3134; 1997.

Cornillon, P. and A. Palloix. 1997. Impact of sodium chloride on the growth and mineral nutrition of pepper cultivars. J. Plant Nutr. 20 (9): 1085-1094.

Costa, W. A. J. M. de, M. Becher, and S. Schubert. 1997. Effects of water stress on nitrogen fixation of common bean (*Phasolus vulgaris* L.). J. Nat. Sci. Council Sri Lanka 25 (2): 83-94.

Courduroux, J. C. 1959. Temperature and tuber-formation in the potato (In French). Bull. Soc. Bot Fr. 106: 322-324. c.a. Field Crop Albstr. 14: 286; 1961.

Cramer, M. D. and S. H. Lips. 1995. Enriched rhizosphere CO_2 concentrations can ameliorate the influence of salinity on hydroponically grown tomato plants. Physiol. Plant. 94 (3): 425-432.

Craufurd, P. Q. and T. R. Wheeler. 1999. Effects of drought and plant density on radiation interception, radiation-use efficiency and partitioning of dry matter to seed in cowpea. Exp. Agr. 35 (3): 309-325.

Cresswell, G. C. 1991. Effect of lowering nutrient solution concentration at night on leaf calcium levels and the incidence of tipburn in lettuce (var. Gloria). J. Plant Nutr. 14 (9): 913-924.

Cuartero, J. and R. Fernández-Muñoz. 1999. Tomato and salinity. Sci. Hort. 78 (1/4): 83- 125.

Cushman, K. E. and T. W. Tibbitts. 1996. Size of tuber propagule influences injury of 'Kennebec' potato plants by constant light. HortScience 31 (7): 1164-1166.

Daly, M. J. and D. P. C. Stewart. 1999. Influence of "effective microorganisms" (EM) on vegetable production and carbon mineralization - a preliminary investigation. Journal of Sustainable Agriculture 14 (2/3): 15-25.

Dang, Y. H., Z. H. Cheng, J. Z. Du, and N. Wang. 1997. The effects of low temperature on leaves of different cucumber cultivars. Cucurbit Genetics Cooperative Report No. 20: 9-10.

Daskalaki, A. and S. W. Burrage. 1997. The effect of root zone temperature on the growth and root anatomy of cucumber (*Cucumis sativus* L.). Acta Hort. No. 449: 569-574.

Davis, T. D., J. E. Ells, and R. H. Walser. 1990. Emergence, growth, and freezing tolerance of tomato seedlings grown from uniconazole-treated seed. HortScience 25: 312-313.

Davis, J. G., R. M. Waskom, T. A. Bauder, and G. E. Cardon. 2007. Managing sodic soils. Colorado State University Extension - Agriculture. The Internet.

Davis, A. R. et al. 2008. Cucurbit grafting. Critical Reviews in Plant Sciences 27 (1): 50-74.

Dawood, M. G., M. T. Abdelhamid, and U. Schmidhalter. 2014. Potassium fertilizer enhances the salt-tolerance of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Hort. Sci. Biotechnol. 89 (2): 185-192.

De Angelis, J. G. 1970. Effect of gibberellic acid treatments on globe artichoke (*Cynara scolymus* L.). Israel J. Agr. Res. 20: 149-157. c.a. Hort. Abst. 41: 6370; 1971.

Del Amor, F. M., V. Martinez, and A. Cerdá. 1999. Salinity duration and concentration affect fruit yield and quality, and growth and mineral composition of melon plants grown in perlite. HortScience 34 (7): 1234-1237.

Delfine, S. et al. 2000. Agronomic and physiological aspects of salinity stress on a field-grown tomato crop. Acta Hort. No. 537 (Vol. 2.): 647-654.

Dell'Amico, J., D. Morales, E. Jerez, W. Torres, M. J. Sánchez-Blanco, and M. C. Ruiz-Sánchez. 1994. Response of different tomato cultivars to flooding conditions. Agricoltura Mediterranea 124 (1): 21-28. c.a. Hort. Abstr. 65: 429; 1995.

Dell'Amico, J., A. Torrecillas, P. Roodriguez, A. Morte, and M. J. Sánchez-Blanco. 2002 Responses of tomato plants associated with the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus clarum* during drought and recovery. J. Agric. Sci. 138(4): 387-393.

De Miranda, J. C. C. and P. J. Harris. 1994. The effect of soil phosphorus on the external mycelium growth of arbuscular mycorrhizal fungi during the early stages of mycorrhizal formation. Plant Soil 166 (2): 271-280.

De Pascale, S. et al. 2001. Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. J. Hort. Sci. Biotechnol. 76 (4): 447-453.

De Pascale, S., C. Ruggiero, G. Barbieri, and A. Maggio. 2003. Physiological responses of pepper to salinity and drought. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 128 (1): 48-54.

De Pascale, S., A. Maggio, and G. Barbieri. 2005. Soil salinization affects growth, yield and mineral composition of cauliflower and broccoli. Europ. J. Agron. 23: 254-264.

De Pascale, A. Martino, G. Raimondi, and A. Maggio. 2007. Comparative analysis of water and salt-stress-induced modifications of quality parameters in cherry tomatoes. J. Hort. Sci. Biotechnol. 82 (2): 283-289.

De Silva, A., K. Patterson, and J. Mitchell. 1996. Endomycorrhizae and growth of 'Sweetheart' strawberry seedlings. HortScience 31 (6): 951-954.

De Souza, A., L. Sueiro, D. Garcia, and E. Porras. 2010. Extremely low frequency non-uniform magnetic fields improve tomato seed germination and early seedling growth. Seed Sci. Technol. 38 (1): 61-72.

Deveci, M. and U. Bal. 2008. Spray application of selected substances increases cold endurance of broccoli (*Brassica oleraceae* var. *italica*) seedlings. Acta Hort. No. 797: 179-183.

Devlin, R. M. 1975. Plant physiology. D. van Nostrand Co., N. Y. 600 p.

De Wilde, R. C. 1971. Practical applications of (2-chloroethyl) phosphonic acid in agricultural production. HortScience 6: 364-370.

Di Bonito, R., E. R. Duke, and M. L. Elliott. 1995. Root colonization by *Glomus intaradix* (AM fungi) on horticultural species. Proc. Florida State Hort. Soc. 107: 217-220.

Di Gioia, F., A. Signore, F. Serio, and P. Santamaria. 2013. Grafting improves tomato salinity tolerance through sodium partitioning within the shoot. HortScience 48 (7): 855-862.

Dong, C. J., X. L. Wang, and Q. M. Shang. 2011. Salicylic acid regulates metabolism that confers tolerance to salinity stress in cucumber seedlings. Sci. Hort. 129: 629-636.

Drost, D. T. 1997. Asparagus, pp. 621-649. In: H. C. Wien (ed.). The physiology of vegetable crops. CAB International, Wallingford, UK.

Drost, D. and D. Wilcox-Lee. 1997a. Soil water deficits and asparagus: I. shoot, root, and bud growth during two seasons. Sci. Hort. 70 (2/3): 131-143.

Drost, D. and D. Wilcox-Lee. 1997b. Soil water deficits and asparagus: II. Bud size and subsequent spear growth. Sci. Hort. 70 (2/3): 145-153.

Du, Y. C. and S. Tachibana. 1994. Effect of supraoptimal root temperature on the growth, root respiration and sugar content of cucumber plants. Sci. Hort. 58 (4): 289-301.

Du, C. X., H. F. Fan, and S. R. Guo. 2010. Applying spermidine for differential responses of antioxidant enzymes in cucumber subjected to short-term salinity. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 135: 18-24.

Duval, J. R. and D. S. NeSmith. 2000. Treatment with hydrogen peroxide and seedcoat removal or clipping improve germination of 'Genesis' triploid watermelon. HortScience 35 (1): 85-86.

Eastburn, D. M., A. J. McElrone, and D. D. Bilgin. 2011. Influence of atmospheric and climate change on plant-pathogen interactions. Plant Pathol. 60:54-69.

Edelstein, M., M. Ben-Hur, R. Cohen, Y. Burger, and I. Ravina. 2005. Boron and salinity effects on grafted and non-grafted melon palnts. Plant soil 269: 273-284.

Edelstein, M., M. Ben-Hur, and Z. Plaut. 2007. Grafted melons irrigated with fresh or effluent water tolerate excess boron. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 132 (4): 484-491.

Edelstein, M., Z. Plaut, and M. Ben-Hur. 2011. Sodium and chloride exclusion and retention by non-grafted and grafted melon and *Cucurbita* plants. J. Exp. Bot. 62 (1): 177-184.

Edmond, J. B., T. L. Senn, F. S. Andrews, and R. G. Halfacre. 1975. (4th ed.). Fundamentals of horticulture. McGraw-Hill Book Co., N. Y. 560 p.

Egel, D. S. 1999. Seed germination and health for triploid (seedless) watermelons. Dept. of Botany and Plant Pathology, Purdue University, West Lafayette, Indiana. The Internet.

Eissa, A. M. and H. I. El-Kassas. 1999. Impact of heavy metals on soil, plant and water at Abou-Zaabal area. Egypt. J. Soil Sci. 39 (3): 351-360.

El-Ahmadi, A. B. 1977. Genetics and physiology of high temperature fruit-set in the tomato. Ph.D. thesis, Univ. Calif., Davis.

El-Gamal, S. M. A., A. E. Omran, and A. A. Salem. 2007. Response of strawberry to some bio and mineral fertilizers. Minufiya J. Agric. Res. 32 (6): 1613-1635.

El-Habbasha, K. M., H. M. Gomaa, A. M. El-Gizawy, and S.S. Mohamed. 1999. Response of tomato plants to foliar spray with some growth regulators under late summer conditions. Egypt. J. Hort. 26 (1): 35-46.

El-Ramady, H., A. Belal, and S. El-Marsafawy. 2012. Contemporary environmental readings. Vo. 1. Climate change – a blessing or a curse for agriculture. Lambert Academic Publishing, Saabrucken, Germany. 296 p.

El-Sayed, H. 1992. Proline metabolism during water stress in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). Plant. Phyton (Horn) 32: (2): 255-261. c.a. Hort Abstr. 1995, 65: 400.

El-Tohamy, W., W. H. Schnitzler, U. El-Behairy, and M. S. El-Beltagy. 1999. Effect of mycorrhiza on improving drought and chilling tolerance of bean plants (*Phaselus vulgaris* L.). Angewandte Botanik 73 (5/6): 178-183.

Elwan, M. W. M. 2010. Ameliorative effects of di-potassium hydrogen orthophosphate on salt-stressed eggplant. J. Plant Nutr. 33 (11): 1593-1604.

English, P. J., G. W. Lycett, J. A. Roberts, and M. B. Jackson. 1995. Increased 1-aminocycloprepane 1-carboxylic acid oxidase activity in shoots of flooded tomato plants raises ethylene production to physiologically active levels. Plant Physiol. 109 (4): 1435-1440.

Eraslan, F., A. Inal, A. Gunes, and A. Alpaslan. 2007. Impact of exogenous salicylic acid on the growth, antioxidant activity and physiology of carrot plants subjected to combined salinity and boron toxicity. Sci. Hort. 113 (2): 120-128.

Erickson, P. I., L. M. Cello, L. W. Froelich, and J. T. Bahr. 1990. Rhizogenic response of tomato genotypes to *Agrobacterium rhizogenes* inoculation. J. Hort. Sci. 65: 333-337.

Eris, A., H. O. Sivritepe, and N. Sivritepe. 1995. The effects of seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extract on yield and quality criteria in peppers. Acta Hort. No. 412: 185-192.

Ernst, M. and H. Krug. 1998. Seasonal growth and development of asparagus (*Asparagus officinalis* L.). III. The effect of temperature and water stress on carbohydrate content in storage roots and rhizome buds. Gartenbauwissenschaft 63 (5): 202-208.

Erturk, Y., S. Ercisli, and R. Cakmakci. 2012. Yield and growth response of strawberry to plant growth-promoting rhizobacteria inoculation. J. Plant Nutr. 35 (6): 817-826.

Esensee, V., D. L. Leskovar, and A. K. Boales. 1995. Inefficacy of methanol as a growth promoter in selected vegetable crops. HortTechnology 5 (3): 253-256.

Esitken, A. 2003. Effects of magnetic fields on yield and growth in strawberry 'Camarosa'. J. Hort. Sci. Biotechnol. 78 (2): 145-147.

Etoh, T. 1994. Recent studies on leaf, flower, stem and root vegetables in Japan. Hort. Abst. 64 (2): 121-129.

Ezekiel, R. and S. C. Bhargava. 1991. Potato leaf growth as influenced by photoperiod. Plant Physiol. Biochem. (New Delhi) 18 (2): 91-95.

Fan, H. F. and C. X. Du. 2012. Effect of nitric oxide on proline metabolism in cucumber seedlings under salinity stress. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 137 (3): 127-133.

Fan, H., S. Q. Feng, and Y. M. Zhao. 1996. The correlation of polyamines with chilling injury. (In Chinese with English summary). J. China Agr. Univ. 1 (1): 108-112. c.a. Hort. Abstr. 67 (11): 9486; 1997.

Fan, M., Z. Bie, A. Krumbein, and D. Schwarz. 2011. Salinity stress in tomatoes can be alleviated by grafting and potassium depending on the rootstock and K-concentration employed. Sci. Hort. 130: 615-623.

Fasciglione, G. et al. 2012. *Azospirillum* improves lettuce growth and transplant under saline conditions. J. Sci. Food Agric. 92: 2518-2523.

Fedina, I. S. and T. D. Tsonev. 1997. Effect of pretreatment with methyl jasmonate on the response of *Pisum sativum* to salt stress. J. Plant Physiol. 151 (6): 735-740.

Feibert, E. B. G., S. R. James, K.A. Rykbost, A. R. Mitchell, and C. C. Shock. 1995. Potato yield quality not changed by foliar-applied methanol. HortScience 30 (3): 494-495.

Feibert, E. B. G., C. C. Shock, and L. D. Sounders. 2003. Nonconventional additives leave onion yield and quality unchanged. HortScience 38 (3): 381-386.

Feng, Y. X. 1990. Studies on the relationship between frost injury to cucumber and bacteria active in ice nucleation. (In Chinese). Acta Horticulturae Sinica 17: 211-216. c.a. Hort. Abstr. 63: 1929; 1993.

Feng, J. P. et al. 2010. Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. Sci. Hort. 123 (4): 521-530.

Fernández, L., Z. Terán, and M. León. 1996. The effect of magnetically treated irrigation water on quality of onion seedlings growm in zeoponics. (In Spanish with English summary). Cultivos Tropicales 17 (2): 55-59. c.a. Hort. Abstr. 67: Abstr. 4850; 1997.

Fernandez-Garcia, N., V. Martinez, A. Cerdá, and M. Carvajal. 2002. Water and nutrient uptake of grafted tomato plants grown under saline conditions. J. Plant Physiol. 159 (8): 899-905.

Fery, R. L. 1990. The cowpea: production, utilization, and research in the United States. Hort. Rev. 12: 197-222.

Fierro, A., N. Tremblay, and A. Gosselin. 1994. Supplemental carbon dioxide and light improved tomato and pepper seedling growth and yield. HortScience 29 (3): 152-154.

Figueiredo, M. V. B., J. J. Vilar, H. A. Burity, and F. P. de Franca. 1998. Alleviation of water stress effects in cowpea by *Bradyrhizobium* spp. inoculation. Plant and Soil 207 (1): 67-75.

Fikret, Y., S. Kusvuran, and S. Elliatioglu. 2006. Determination of anti-oxidant activities in some melon (*Cucumis melo* L.) varieties and cultivars under salt stress. J. Hort. Sci. Biotechnol. 81 (4): 627-630.

Flores-Nimedez, A. A. and P. H. Li. 1993. Amelioration of chilling injury in *Phaseolus vulgaris* L. by GLK-8953. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118 (6): 825-830.

Flores, F. B. et al. 2010. The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. Sci. Hort. 125 (3): 211-217.

Flowers, T. J. and S. A. Flowers. 2005. Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeding?. Agric. Water Mang. 78 (1-2): 15-24.

Francois, L. E. 1987. Salinity effects on asparagus yield and vegetative growth. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112 (3): 432-436.

Frankel, C. and A. Erza. 1996. Induction of chilling tolerance in cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings by endogenous and applied ethanol. Physiol. Plant. 96 (4): 593-600.

Freytag, A. H., E. P. Lira, and D. R. Isleib. 1970. Cucumber sex expression modified by growth regulators. HortScience 5: 509.

Frost, D. J. and D. W. Kretchman. 1987. Influence of dikegulate on the growth of processing tomatoes. HortScience 22: 232-234.

Gadallah, M. A. A. 1992. Effects of proline and glycinebetaine on *Vicia faba* responses to salt stress. Biologia Plantarum 42 (2): 249-257.

Gange, S. et al. 1993. Increase of greenhouse tomato fruit yields by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) inoculated into the peat-based growing media. Soil Biology & Biochemistry 25 (2): 269-272. c.a. Hort. Abstr. 65: 1322; 1995.

Gao, Y., Y. K. Guo, S. H. Lin, Y. Y. Fang, and J. G. Bai. 2010. Hydrogen peroxide pretreatment alters the activity of antioxidant enzymes and protects chloroplast ultrastructure in heat-stressed cucumber leaves. Sci. Hort. 126 (1): 20-26.

Garcia, S. M., M. S. Panelo, and F. Nakayama. 1994. Effect of gibberellic acid (GA_3) application on artichoke (*Cynara scolymus* L.). (In Spanish with English summary). Horticultura Argentina 13 (33): 77-82. c.a. Hort. Abstr. 65 (8): 6967; 1995.

Garmendia, I. and V. J. Mangas. 2014. Comparative study of substrate-based and commercial formulations of arbuscular mycorrhizal fungi in Romaine lettuce subjected to soil stress. J. Plant Nutr. 37 (11): 1717-1731.

Garrido, Y. et al. 2014. Physiological, phytochemical and structural changes of multi-leaf lettuce caused by salt stress. J. Sci. Food Agr. 94 (8): 1592-1599.

Gaur, A. and A. Adholeya. 2000. Response of three vegetable crops to VAM fungal inoculation in nutrient deficient soils amended with organic matter. Symbiosis (Rehovot) 29 (1): 19-31.

Gawronska, H., M. K. Thornton, and R. B. Dwelle. 1992. Influence of heat stress on dry matter production and photoassimilate portioning by four potato clones. Amer. Potato J. 69: 653-665.

Geisenberg, C. and K. Stewart. 1986. Field crop management, pp. 511-557. In: J. G. Atherton and J. Rudich (eds.). The tomato crop. Chapman and Hall, London.

Genuchten, M. T. van and S. K. Gupta. 1993. A reassessment of the crop tolerance response function. Journal of the Indian Society of Soil Science 41 (4): 730-737. c. a. Hort. Abstr. 1995. 65: 282.

George, W. L. 1971. Influence of genetic background on sex conversion by 2-chloroethylphosphonic acid in monoecious cucumbers. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96: 152-154.

Ghasemi, S., A. H. Khoshgoftamanesh, M. Afyni, and H. Hadazadeh. 2014. Iron (II) amino acid chelates alleviate salt-stress induced oxidative damages on tomato grown in nutrient solution culture. Sci. Hort. 165: 91-98.

Gil, J. et a. 1995. Effects of cadmium on physiological and nutritional aspects in tomato plant. II. Soluble and Rubisco proteins and nutrient evolution. Fresenius Env. Bul. 4 (7): 436-440. c.a. Hort. Abstr. 65: 9813; 1995.

Gil, J. et al. 1995a. Fresenius Environmental Bulletin 4 (7): 430-435. c. a. Hort. Abstr. 65: 9812; 1995.

Giuffrida, F., M. Martorana, and C. Leonardi. 2009. How sodium chloride concentration in the nutrient solution influences the mineral composition of tomato leaves and fruits. HortScience 44: 707-711.

Giuffrida, F. et al. 2014. Effects of nutrient and NaCl salinity on growth, yield, quality and composition of pepper grown in soilless closed system. J. Plant Nutr. 37 (9): 1455-1474.

Globerson, D. and A. Dagan. 1973. Seed treatments with dichloromethane and gibberellin modifies sex expression of gynoecious cucumber. HortScience 8: (6,I): 493-494.

Golec, A. F. C., P. G. Perez, C. Lakre. 2007. Effective microorganisms: myth or reality? Rev. Peru Biol. 14 (2): 315-319.

Gomez, I. et al. 1996. Salinity and nitrogen fertilization affecting the macronutrient control and yield of sweet pepper plants. J. Plant Nutr. 19 (2): 353-359.

Gonzalez, E. M. et al. 1998. Water-deficit effects on carbon and nitrogen metabolism of pea nodules. J. Exp. Bot. 49 (327): 1705-1714.

Govedarica, M., N. Milosevic, M. Jarak, D. Milosev, and S. Djuric. 1997. Diazotrophs and their activity in pepper. Acta Hort. No. 462: 725-732.

Graifenberg, A., L. Bortini, L. Giustiniani, and M. Lipucci di Paola. 1996. Yield, growth and element content of zucchini squash grown under saline-sodic conditions. J. Hort. Sci. 71 (2): 305-311.

Grange, S. L., D. I. Leskovar, L. M. Pike, and B. G. Cobb. 2000. Excess moisture and seedcoat nicking influence germination of triploid watermelon. HortScience 35 (7): 1355-1356.

Grange, S., D. I. Leskovar, L.M. Pike, and B. G. Cobb. 2003. Seedcoat structure and oxygen-enhanced environments affect germination of triploid watermelon. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 128 (2): 253-259.

Gray, D. and J. R. A. Steckel. 1977. Pre-sowing seed treatment with cytokinin to prevent temperature dormancy in lettuce (*Lactua sativa*). Seed Sci. Technol. 5: 473-477.

Gulen, H. and A. Aris. 2003. Some physiological changes in strawberry (*Fragaria × ananassa* 'Camarosa' plants under heat stress. J. Hor. Sci. Biotechnol. 78 (6): 894-898.

Gunes, A., A. Inal, and M. Alpaslan. 1996. Effect of salinity on stomatal resistance, proline, and mineral composition of pepper. J. Plant Nutr. 19 (2): 389-396.

Gunes, A., A. Inal, E. G. Bagci, S. Coban, and D. J. Pilbeam. 2007. Silicon mediates changes to some physiological and enzymatic parameters symptomatic for oxidative stress in spinach (*Spinacia oleracea* L.) grown under B toxicity. Sci. Hort. 113 (2): 113-119.

Guo, T., J. Zhang, P. Christie, and X. Li. 2006a. Influence of nitrogen and sulfur fertilizers and inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on yield and pungency of spring onion. J. Plant Nutr. 29 (10): 1767-1778.

Guo, T., J. Zhang, P. Christie, and X. Li. 2006b. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and ammonium: nitrate ratios on growth and pungency of onion seedlings. J. Plant Nutr. 29 (6): 1047-1059.

Guo, T., J. Zhang, P. Christie, and X. Li. 2007. Pungency of spring onion as affected by inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and sulfur supply. J. Plant Nutr. 30 (7): 1023-1034.

Hadi, M. R. and N. Karimi. 2012. The role of calcium in plants' salt tolerance. J. Plant Nutr. 35 (13): 2037-2054.

Haghighi, M. and M. Pessarakli. 2013. Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum*) at early growth stage. Sci. Hort. 161: 111-117.

Haghighi, M., M. Kafi, P. Fang, and L. Gui-Xiao. 2010. Humic acid decreased hazardous of cadmium toxicity on lettuce (*Lactuca sativa* L.). Veg crops Res. Bul. 72: 49-61.

Haghighi, M., M. Kafi, and A. Khoshgoftarmanesh. 2013. Effect of humic acid application on cadmium accumulation by lettuce leaves. J. Plant Nutr. 36 (10): 1521-1532.

Hale, M. G. and D. M. Orcutt. 1987. The physiology of plants under stress. John Wiley & Sons, N. Y. 206 p.

Hall, A. E. 1992. Breeding for heat tolerance. Plant Breeding Reviews 10: 128-168.

Hall, J. A., D. Peirson, S. Ghosh, and B. R. Glick. 1996. Root elongation in various agronomic crops by the plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2. Israel J. Plant Sci. 44 (1): 37-42.

Hammes, P. S. and J. A. de Jager. 1990. Net photosynthetic rate of potato at high temperature. Potato Res. 33: 515-520.

Hanan, J. J., W. D. Holley, and K. L. Goldsberry. 1978. Greenhouse management. Springer-Verlag, N. Y. 530 p.

Hanna, H. Y., E. P. Millhollon, J. K. Herrick, and C.L. Fletcher. 1997. Increased yield of heat-tolerant tomatoes with deep transphanting, morning irrigation, and white mulch. HortScience 32 (2): 224-226.

Hariyadi, P. and K. L. Parkin. 1993. Chilling-induced oxidative stress in cucumber (*Cucumis sativus* L. cv. Calypso) seedlings. J. Plant Phys. 141 (6): 733-738.

Hartmann, H. T. and D. E. Kester. 1975 (3rd ed.). Plant propagation: principles and practices. Prentice Hall of India. Priv. Limited, New Delhi. 662 p.

Hartz, T. K. and T. G. Bottoms. 2010. Humic substances generally ineffective in improving vegetable crop nutrient uptake or productivity. HortScience 45: 906-910.

Hartz, T. K., A. Baameur, and D. B. Holt. 1991. Carbon dioxide enrichment of high-value crops under tunnel culture. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116: 970-973.

Hartz, T. K., K. S. Mayberry, M. E. McGiffen, M. LeStrange, G. Miyao, and A. Baameur. 1994. Foliar methanol application ineffective in tomato and melon production. HortScience 29 (9): 1087.

Hasegawa, P. M., R. A. Bressan, S. Hanada, and A. K. Hanada. 1984. Cellular mechanisms of tolerance to water stress. HortScience 19: 371-377.

Hassan, A. A. and I. A. M. Desouki. 1982. Tomato evaluation and selection for sodium chloride tolerance. Egypt. J. Hort. 9: 153-162.

Hassan, I. A., M. R. Ashmore, and J. N. B. Bell. 1995. Effect of ozone on radish and turnip under Egyptian field conditions. Env. Pollution 89 (1): 107-114.

Hassan, I. A. and I. M. Gewifel. 1998. Heavy metals in Egyptian soils: uptake by vegetable crops. Egypt. J. Bot. 38 (1/2): 119-129.

Hassan, I. A., J. Bender, and H. J. Weigel. 1999. Effects of ozone and drought stress on growth, yield and physiology of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Baladey). Gartenbauwissenschaft 64 (4): 152-157.

Hawrylak-Nowak, B., S. Dresler, and M. Wójcik. 2014. Selenium affects physiological parameters and phytochelations accumulation in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants grown under cadmium exposure. Sci. Hort. 172: 10-18.

Hayashi, F. et al. 1971. The relative content of gibberllin in seedlings of gynoecious and monoecious cucumber (*Cucumis sativus*). Phytochemistry 10: 57-62.

He, L. X., K. Nada, and S. Tachibana. 2002. Effects of spermidine pretreatment through the roots on growth and photosynthesis of chilled cucumber plants (*Cucumis sativus* L.). J. Jap. Soc. Hort. Sci. 71 (4): 490-498. c.a. Hort. Abst. 72: Abst. 10117; 2002.

Hede, A. R., B. Skovmand, and J. López-Cesati. 2001. Acid soils and aluminum toxicity, pp. 172-182. In: M P. Renylods et al. (eds.). Application of physiology in wheat breeding. CIMMYT, Mexico, D. F.

Heggestad, H. E. and W. W. Heck. 1971. Nature, exent, and variation of plant response to air pollutants. Adv. Agron. 23: 11-145.

Helmy, E.M.S. 1992. Response to summer squash application methods of fresh garlic extracted by different solvents. Alex. J. Agr. Res. 37 (3): 125-142.

Hemming, D. J. B., R. S. Criddle, and L. D. Hansen. 1995. Effects of methanol on plant respiration. J. Plant Physiol. 146 (3): 193-198.

Hemphill, D. D. 1949. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 54: 261.

Hemphill, D. D., Jr., L. R. Baker, and H. H. Sell. 1972. Different sex phenotypes of *Cucumis sativus* L. and *C. melo* L. and their endogenous gibberellin activity. Euphytica. 21: 285-291.

Herman, M. A. B., B. A. Nault, and C. D. Smart. 2008. Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on bell pepper production and green peach aphid-infestation in New York. Crop Protection 27 (6): 996-1002.

Hernandez, L. D. and E. Vierling. 1993. Expression of low molecular weight heat-shock proteins under field conditions. Plant Physiol. 101 (4): 1209-1216.

Hess, D. 1975. Plant physiology. Springer-Verlag, N. Y.

Hincha, D. K. 1994. Rapid induction of frost hardiness in spinach seedlings under salt stress. Planta 194 (2): 274-278.

Hirano, S. S., L. S. Baker, and C. D. Upper. 1985. Ice nucleation temperature of individual leaves in relation to population sizes of ice nucleation active bacteria and frost injury. Plant Physiol. 77: 259-265.

Hirano, T., M. Kiyota, and I. Aiga. 1995. Physical effects of dust on leaf physiology of cucumber and kidney been plants. Env. Pollution 89 (3): 255-261.

Ho, L. C. and P. Adams. 1994a. The physiological basis for high fruit yield and susceptibility to calcium deficiency in tomato and cucumber. J. Hort. Sci. 69 (2): 367-376.

Ho, L. C. and P. Adams. 1994b. Regulation of the partioning of dry matter and calcim in cucumber in relation to fruit growth and salinity. Ann. Bot. 73 (5): 539-545.

Ho, L. C. and J. D. Hewitt. 1986. Fruit development, pp. 201-239. In: J. G. Atherton and J. Rudich (eds.). The tomato crop. Chapman and Hall, London.

Hoang, T. L. and M. Bohme. 2001. Influence of humic acid on the growth of tomato in hydroponic systems. Acta Hort. No. 548: 451-458.

Hodges, L. and J. R. Brandle. 1996. Windbreaks: an important component in a plasticulture system. HortTechnology 6 (3): 177-181.

Hogan, J. D., E. E. Murray, and M. A. Harrison. 2006. Ethylene production as an indicator of stress conditions in hydroponically-grown strawberries. Sci. Hort. 110 (4): 311-318.

Holzinger, A., D. Nagendra-Prasad, and G. Huys. 2011. Plant protection potential and ultra structure of *Bacillus subtilis* strain 3 A25. Crop Prot. 30 (6): 739-744.

Hopkins, W. G. 1995. Introduction to plant physiology. John Wiley & Sons, Inc., N. Y. 464 p.

Huang, Y., R. Tang, Q. Cao, and Z. Bie. 2009. Improving the fruit yield and quality of cucumber by grafting onto the salt tolerant rootstock under NaCl stress. Sci. Hort. 122: 26-31.

Huang, Y. et al. 2013. Grafting onto different rootstocks as a means to improve watermelon tolerance to low potassium stress. Sci. Hort. 149: 80-85.

Huang, Y. et al. 2013. Reciprocal grafting between cucumber and pumpkin demonstrates the roles of the rootstock in the determination of cucumber salt tolerance and sodium accumulation. Sci. Hort. 149: 47-54.

Hughes, S. G., J. A. Bryant, and N. Smirnoff. 1989. Molecular biology: application to studies of stress tolerance, pp. 131-155. In: H. G. Jones, T. J. Flowers, and M. B. Jones (eds.). Plants under stress. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Huitrón, M. V., M. Diaz, F. Diánez, and F. Camacho. 2007 . Effect of 2,4-D and CPPU on triploid watermelon production and quality. HortScience. 42 (3): 559-564.

Hunt, J. E. and D. L. McNeil. 1998. Nitrogen status affects UV-B sensitivity of cucumber. Aust. J. Plant Physiol. 25 (1): 79-86.

Iba, K. 2002. Acclimative response to temperature stress in higher plants: approaches of gene engineering for temperature tolerance. Ann. Rev. Plant Biol.. 53: 225-245.

Iba, K. 2006. Trienoic fatty acids and temperature tolerance of higher plants, pp. 61-68. In: A. K. Rai and T. Takabe (eds.). Abiotic stress tolerance in plants. Springer, Dordrecht, The Netherlands.

Ibijbijen, J., S. Urquiaga, M. Ismaili, B. J. R. Alves, and R. M. Boddey. 1996. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrituin and nitrogen fixation of three varieties of common beans (*Phaseolus vulgaris*). New Phytologist 134 (2): 353-360.

Ibrahim, A. 1992. Fertilization and irrigation management for tomato production under arid conditions. Egypt. J. Soil Sci. 32 (1): 81-96.

Ibrahim, A., M. Khalifa, M. Hafez, and M. A. Ghafar. 1993. Transpiration control and growth of tomato and squash plants. Egypt. J. Soil Sci. 33 (2): 135-148.

Iglesias, R., A. Gutierrez, and F. Ferrandez. 1994. The influence of chitin from lobster exoskeleton on seedling growth and mycorrhizal infection in tomato crop (*Lycopersicon esculentum* Mill). Cultivos Tropicales 15 (2): 48-49.

Ikeda, T., M. Oda, and S. Imada. 1999. Water status of tomato plugs sprayed with (+) – S-abscisic acid and stored in the dark at room temperature. Env. Control Biol. 37 (2): 109-114.

Inbar, J., M. Abramsky, D. Cohen, and I. Chet. 1994. Plant growth enhancement and disease control by *Trichoderma harzianum* in vegetable seedlings grown under commercial conditions. Europ. J. Plant Pathol. 100 (5): 337-346.

Incerti, A., F. Navari-Izzo, A. Pardossi, A. Mensuali, and R. Izzo. 2007. Effect of sea water on biochemical properties of fruit of tomato (*Lycopersicon esculeltum* Mill.) genotypes differing for ethylene production. J. Sci. Food Agr. 87 (13): 2528-2537.

Ipek, M. et al. 2014. Plant growth-promoting rhizobacteria (Pgpr) increase yield, growth and nutrition of strawberry under high-calcareous soil. J. Plant Nutr. 37 (2): 990-1001.

ISAA, International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications. 2008. Pocket K No. 32: Biotechnology for the development of drought tolerant crops. The Internet.

Isenberg, F. M. 1956. The use of maleic hydrazide on onions. Proc. Amer Soc. Hort. Sci. 68: 343-350.

Ishibashi, M. and I. Terashima. 1995. Effects of continuous leaf wetness on photosynthesis: adverse aspects of rainfall. Plant, Cell and Env. 18 (4): 431-438.

Israelsen, O. W. and V. E. Hansen. 1962. Irrigation principles and practices. Joh Wiley & Sons, Inc., N. Y. 447 p.

Iwahori, S., J. W. Lyons, and W. L. Sims. 1969. Induced femaleness in cucumber by 2-chloroethanephosphonic acid. Nature 222: 271-272.

Iwahori, S., J. M. Lyons, and D. E. Smith. 1970. Sex expression in cucumber plants as affected by 2-chlorethanephosphonic acid, ethylene, and growth regulators. Plant Physiol. 46: 412-415.

Izquierdo, J. and J. N. Corgan. 1980. Onion plant size and timing for ethephon-induced inhibition of bolting. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105: 66-67.

Jackson, M. B. 2007. The impact of flooding stress on plants and crops. «www.plantstress.com».

Jackson, M. B. 2011. The impact of flooding stress on plants and crops. www.plantstress.com/articles/waterlogging.

Jain, S. H. S. Nainawatte, R. K. Jain, and J. B. Chowdhury. 1993. Salt-tolerance in *Brassica juncea*. II. Salt-stress induced changes in polypeptide pattern of in *vitro* selected NaCl-tolerant plants. Euphytica 65: 107-112.

Jamali, B., S. Eshghi, and E. Taffazoli. 2013. Vegetative growth, yield, fruit quality and fruit and leaf composition of strawberry cv. 'Pajaro' as influenced by salicylic acid and nickel sprays. J. Plant Nutr. 36 (7): 1043-1055.

Jastefer, A. G., P. Farmer-Koppenol, and D. M. Sylvia. 1998. Tissue magnesium and calcium affect arbuscular mycorrhiza development and fungal reproduction. Mycorrhiza 7 (5): 237-242.

Javid, A. 2009. Arbuscular mycorrhizal mediated mutrition in plants. J. Plant Nutr. 32 (10): 1595-1618.

Jennings, P. and M. E. Saltveit. 1994a. Temperature and chemical shocks induce chilling tolerance in germinating *Cucumis sativus* (cv. Poinsett 76) seeds. Physiol. Plant. 91 (4): 703-707.

Jennings, P. and M. E. Saltveit. 1994b. Temperature effects on imbibition and germination of cucumber (*Cucumis sativus*) seeds. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119 (3): 464-467.

Jiang, W. S., D. H. Liu, and W. Q. Hou. 2001. Hyperaccumulation of cadmium by roots, bulbs and shoots of garlic (*Allium sativum* L.). Bioresource Technology 76 (1): 9-13.

Jiang, W., J. Bai, X. Yang, H. Yu, and Y. Liu. 2012 Exogenous application of abscisic acid, putrescine, or 2,4-epibrassinolide at appropriate concentrations effectively alleviate damage to tomato seedlings from suboptimal temperature stress. HortScience 22 (1): 137-144.

Jiang, W., M. Ding, O. Duan, Q. Zhou, and D. Huang. 2012. Exogenous glucose preserves the quality of watermelon (*Citrullus lanatus*) plug seedlings for low-temperature storage. Sci. Hort. 148: 23-29.

Johansen, A., I. Jakobsen, and E. S. Jensen. 1994. Hyphal N transport by a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus associated with cucumber grown at three nitrogen levels. Plant and Soil 160 (1) : 1-9.

Jones, R. G. W. 1981. Salt tolereance, pp. 271-292. In: C. B. Johnson (ed.). Physiological processes limiting plant productivity. Butterworths, London.

Jones, R. W., Jr., L. M. Pike, and L. F. Yourman. 1989. Salinity influences cucumber growth and yield. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 114: 547-551.

Jones, H. G., T. J. Flowers, and M. B. Jones (Eds). 1989. Plants under stress. Cambridge Univ. Pr., Cambridge. 257 p.

Juroszek, P. and A. von Tiedemann. 2011. Potential strategies and future requirements for plant disease management under a changeing climate. Plant Pathol. 60: 100-112.

Jutamanee, K., T. Saito, and S. Subhadrabandhu. 1994. Control of sex expression in cucumber by photoperiod, defoliation, and plant growth regulators. Kasetsart Journal, Natural Resources 28 (4): 626-631. c.a. Hort. Abstr. 67: 6905; 1997.

Kadbane, V. T. and H. B. Mungse. 1997. Influence of kaolin sprays on leaf area, dry matter production and yield of summer mungbean. J. Maharashtra Agric. Univ. 22 (3): 292-295. c.a. Field Crops Abstr. 52: Abstr. 2696; 1999.

Kanahama, K. 1994. Studies on fruit vegetables in Japan. Hort. Abstr. 64 (1): 1-15.

Kanber, R. and Y. Bahceci. 1995. Response of field beans (*Phaseolus vulgaris*) to saline irrigation water, pp. 205-219. In: A. Handy (ed.). On-farm sustainable use of saline water irrigation: Mediterranean experiences. Center International des Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes, Bari, Italy.

Kanechi, M., Y. Hikosaka, and Y. Uno. 2013. Application of sugarbeet pure and crude extracts containing glycinebetaine affects root growth, yield, and photosynthesis of tomato growing during summer. Sci. Hort. 152: 9-15.

Kano, Y. 2000. Effects of CPPU treatment on fruit and rind development of watermelons (*Citrullus lanatus* Matsum et Nakai). J. Hort. Sci. Biotechnol. 75 (6): 651-654.

Kano, Y. 2007. Effects of maleic hydrazide on the size and number of cells and sugar accumulation in the fruit of melons (*Cucumis melo* L.) HortScience 42: 1357-1360.

Kapitsmiadi, C. 1995. Effect of a long chain aliphatic alcohol (triacontanol) on growth and yield of different horticultural crops. Acta. Hort. No. 379: 237-243.

Karapanos, I. C. et al. 213. Application of β-naphthoxyacetic acid (β-NOA) improves fruit yield and marketable quality in out-of-season cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L. var. *cerasiforme* (Dunal) D. M. Spooner, G. J. Anderson and R. K. Jansen) cultivated in unheated greenhouses in the Mediterranean Basin. J. Hort. Sc. Biotechnol. 88 (2): 165-172.

Karchi, Z. 1970. Effects of 2-chloroethanephosphonic acid on flower types and flowering sequences in muskmelon. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95: 515-518.

Karlidag, H., A. Esitken, E. Yildirim, M. F. Donmez, and M. Turan. 2011. Effects of plant growth promoting bacteria on yield, growth, leaf water content, membrane permeability, and ionic composition of strawberry under saline conditions. J. Plant Nutr. 34 (1): 34-45.

Karlidag, H., E. Yildirim, and M. Turan. 2011. Role of 24-epibrassinolide in mitigating the adverse effects of salt stress on stomatal conductance, membrane permeability, and leaf water content, ionic composition in salt stressed strawberry (*Fragaria* × *ananassa*). Sci. Hort. 130: 133-140.

Karlidag, H., E. Yildirim, M. Turan, M. Pehluvan, and F. Donmez. 2013. Plant growth-promoting rhizobacteria mitigate deleterions effects of salt stress on strawberry plants (*Fagaria* × *ananassa*. HortScience 48 (5): 563-567.

Karthikeyan, A., A. Nagasathya, V. Shanthi, and E. Priya. 2008. Hypersaline cyanobacterium: a potential biofertilizer for *Vigna mungo* L. (black gram). American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture 2 (1): 87-91.

Kasrawi, M. A. 1988. Effect of silver nitrate on sex expression and pollen viability in parthenocarpic cucumber (*Cucumis sativus* L.). Dirasat 15 (11): 69-78.

Kato, S., H. L. Xu, M. Fujita, K. Kamada, and H. Numemura. 1999. Effect of organic fertilizations and EM applications on growth pattern, nutrient uptake and grain yield of sweet corn. Fifth International Conference on Kyusei Nature Farming, Bangkok, Thailand, 23-26 October, pp. 62-72.

Kaya, C. and D. Higgs, 2002. Calcium nitrate as a remedy for salt-stressed cucumber plants. J. Plant Nutr. 25 (4): 861-871.

Kaya, C., D. Higgs, K. Saltali, and O. Gezerel. 2002a. Response of strawberry grown at high salinity and alkalinity to supplementary potassium. J. Plant Nutr. 25 (7): 1415-1427.

Kaya, C., B. E. Ak, D. Higgs, and B. Murillo-Amador. 2002b. Influence of foliar-applied calcium nitrate on strawberry plants grown under salt-stressed conditions. Austr. J. Exp. Agr. 42 (5): 631-636.

Kaya, C., H. Kirnak, D. Higgs, and K. Saltani. 2002c. Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. Sci. Hort. 93 (1): 65-74.

Kaya, C., A. L. Tuna, M. Ashraf, and H. Altunlu. 2007. Improved salt tolerance of melon (*Cucumis melo* L.) by the addition of proline and potassium nitrate. Environmental and Experimental Botany 60: 397-403.

Kaya, C. et al. 2009. Supplementary phosphorus can alleviate boron toxicity in tomato. Sci. Hort. 121 (3): 284-288.

Keithly, J. H., H. Kobayashi, H. Yokoyama, and H. W. Gausman. 1991. Enhanced vegetative growth and development of processing tomato by DCPTA treatment of seed. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116: 693-696.

Kelman, A. 1979. How bacteria induce disease. In: J. G. Horsfall and E. B. Cowling (Eds). "Plant Disease: An Advanced Treatise"; Vol IV, pp. 181-202. Academic Pr. N. Y.

Kender, W. J. and P. L. Forsline. 1983. Remedial measures to reduce air pollution losses in horticulture. HortScience. 18: 680-683.

Kerdnaimongkol, K. and W. R. Woodson. 1999. Inhibition of catalase by antisense RNA increases susceptibility to oxidative stress and chilling injury in transgenic tomato plants. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 124 (4): 330-336.

Keutgen, A. J. and E. Pawelzik. 2008. Influence of pre-harvest ozone exposure on quality of strawberry fruit under simulated retail conditions. Postharvest Biol. Technol. 49 (1): 10-18.

Khan, E. M. and H. C. Passam. 1992. Flowering, fruit set and development of the fruit and seed of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivated under conditions of high ambient temperature. J. Hort. Sci. 67: 251-258.

Khan, A. A., S. Ilyas, and W. Ptasznik. 1995. Integrating low water potential seed hydration with other treatments to improve cold tolerance. Ann. Bot. 75: 13-19.

Khasa, P., V. Furlan, and J. A. Fortin. 1992. Response of some tropical plant species to endomycorrhizal fungi under field conditions. Tropical Agriculture 69 (3): 279-283. c.a. Hort. Abstr. 1993, 63: 6595.

Kilian, M. and G. Raupach. 1999. *Bacillus subtilis* as a plant growth promoter in vegetable production. Gemüse (München) 35 (3): 160-163. Cited from Hort. Abstr. 69: 5839; 1999.

Kimball, B. A., K. Kobayashi, and M. Bindi. 2002. Responses of agricultural crops to free-air CO_2 enrichment. Adv. Agron. 77: 293-368.

King, A. I. and M. S. Reid. 1987. Diurnal chilling sensitivity and desiccation in seedlings of tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 821-824.

Kirk, W. W. and B. Marshall. 1992. The influence of temperature on leaf development and growth in potato in controlled environments. Ann. Appl. Biol. 120 (3): 511-525.

Kochian, L. V. 1995. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 46: 237-260.

Kochian, L. V., O. A. Hoekenga, and M. A. Pineros. 2004. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorus efficiency. Ann. Rev. Plant Biol. 55: 459-493.

Kokalis-Burelle, N., C. S. Vavrina, E. N. Rosskopf, and R. A. Shelby. 2002. Field evaluation of plant growth-promoting rhizobacteria amended transplant mixes and soil solarization for tomato and pepper production in Florida. Plant and Soil 238 (2): 257-266.

Kokalis-Burelle, N., C. S. Vavrina, M. S. Reddy, and J. W. Kloepper. 2003. Amendment of muskmelon and watermelon transplant media with plant growth-promoting rhizobacteria: effects on seedling quality, disease, and nematode resistance. HortTechnology 13 (3): 476-482.

Korkmaz, A. 2002. Amelioration of chilling injuries in watermelon seedlings by abscisic acid. Turkish J. Agr. Forestry 26 (1): 17-20.

Korkmaz, A., R. Sirikci, F. Kocacinar, O. Deger, and R. Demirkirian. 2012. Alleviation of salt-induced adverse effects in pepper seedling by seed application of glycinebetaine. Sci. Hort. 148: 197-205.

Krizek, D. T. 1982. Plant response to atmospheric stress caused by waterloggong, pp. 293-335. In: M. N. Christiansen and C. F. Lewis (eds.). Breeding plants for less favorable environments. John Wiley & Sons, Inc., N. Y.

Krizek, D. T., G. F. Kramer, and R. M. Mirecki. 1997. Influence of UV-B radiation and putrescine on shoot and root growth of cucumber seedlings grown in nutrient solution. J. Plant Nutr. 20 (6): 613-623.

Krug, H. 1963. Effect of temperature and daylength on the development of the potato plants as a basis of yield formation. (In German). Gartenbauwissenschaft 28 (10): 515-564. c.a. Field Crop Abstr. 18: 1412; 1965.

Krug, H. 1997. Environmental influences on development, growth and yield, pp. 101-180. In: H. C. Wien (ed.). The Physiology of vegetable crops. CAB International, Wallingford, UK.

Krumbein, A. and H. Auerswald. 1999. Important aroma compounds in tomato determined by instrumental and sensory analysis, pp. 303-305. In: M. Hagg et al. (eds.). Agri-food quality II: quality management of fruits and vegetables – from field to table. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK.

Kubota, C. et al. 2012. Changes in selected quality attributes of greenhouse tomato fruits as affected by pre- and posharvest environmental conditions in year-round production. HortScience 47 (12): 1698-1704.

Kulkarni, M. G., G. D. Ascough, and J. van Staden. 2007. Effects of foliar applications of smoke-isolated Butenolide on seedling growth of okra and tomato. HortScience 42 (1): 179-182.

Kuo, C. G. and B. W. Chen. 1980. Physiological responses of tomato cultivars to flooding. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105: 751-755.

Kuo, C. G. and C. T. Tsai. 1984. Alterarion by high temperature of auxins and gibberellin concentrations in the floral buds, flowers, and young fruit of tomato. HortScience 19: 870-872.

Kuo, C. G., H. M. Chen, and L. H. Ma. 1986. Effect of high temperature on proline content in tomato floral buds and leaves. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 111 (5): 746-750.

Laamin, M., Z. Lapsker, E. Fallik, A. Ait-Oubahou, and S. Lurie. 1998. Treatments to reduce chilling injury in harvested cucumbers. Advances in Horticultural Science 12 (4): 175-178.

Lechino, S., E. Zamski, and E. Tel-Or. 1997. Salt stress-induced response in cucumber plants. J. Plant Physiol. 150 (1/2): 206-211.

Lecoeur, J. and L. Guilioni. 1998. Rate of leaf production in response to soil water deficits in field pea. Field Crop Res. 57 (3): 319-328.

Lee, J. W., E. H. Lee, J. S. Kwon, S. Y. Lee, and N. Y. Heo. 1997. Effects of different soil warming for each growing stage on growth and yield of greenhouse-grown cucumber (*Cucucumis sativus* L.). (In Korean with English summary). RAD. J. Hort. Sci. 39 (1): 9-15. c.a. Hort. Abstr. 68 (4): 3124; 1998.

Leopold, A. C. and P. E. Kriedmann. 1975. (2nd ed.). Plant growth and development. McGraw-Hill Book Co., N. Y. 545 p.

Leprince, O. and J. Buitink. 2010. Desication tolerance: from genomics to the field. Plant Science 179: 554-564.

Leskovar, D. I., S. Goreta, and J. A. Franco. 2006. Impact of AVG preharvest spray and soil injection on yield and quality of melon. HortScoemce 41 (5): 1249-1252.

Leviatov, S., O. Shoseyov, and S. Wolf. 1995. Involvement of endomannase in the control of tomato seed germination under low temperature conditions. Ann. Bot. 76 (1): 1-6.

Levitt, J. 1980 (2nd ed.) Response of plants to environmental stresses. Vol. 1. Chilling, freezing, and high temperature stresses. Academic Pr. N. Y. 497. p.

Levitt, J. 1980. (2nd ed.) Response of plants to environmental stresses. Vol. II. Water, radiation, salt, and other stresses. Academic Pr. N. Y. 606 p.

Levy, D. 1992. The response of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) to salinity: plant growth and tuber yield in the arid desert of Israel. Ann. Appl. Biol. 120 (3): 547-555.

Levy, D., E. Fogelman, and Y. Itzhak. 1988. The effect of water salinity on potatoes (*Solanum tuberosum* L.): physiological indices and yielding capacity. Potato Res. 31 (4): 601-610.

Li, P. H. and A. Fennell. 1985. Potato frost hardiness, pp. 457-479. In: P.H. Li (ed.). Potota physiology. Academic Pr., N. Y.

Li, S. D. and R. H. Mei. 1991. Application of "Yield-increasing bacteria" to greenhouse crops. In: B. Z. Lui (Ed.). "Proceedings of International Symposium on Applied Technology of Greenhouse"; pp. 289-292. Knowledge Pub. House, Beijing, China. (c.a. Hort. Abstr. 1993, 63; 7646).

Li, B. et al. 2013. Exogenous spermidine inhibits ethylene production in leaves of cucumber seedlings under NaCl stress. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 138 (2): 108-113.

Liang, W., M. Wang, and X. Ai. 2009. The role of calcium in regulating photosynthesis and related physiological indexes of cucumber seedlings under low light intensity and suboptimal temperature stress. Sci. Hort. 123 (1): 34-38.

Lin, W. C. and P. A. Jolliffe. 1996. Light intensity and spectral quality affect fruit growth and shelf life of greenhouse-grown long English cucumber. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121 (6): 1168-1173.

Lin, T. C., S. H. Chuan, and S. T. Hong. 1991. Effect of chemicals on the enhancement of bolting in artichoke (*Cynara scolymus* L.). Bulletin of Taichung District Agricultural Improvement Station No. 32: 11-15. c.a. Hort. Abstr. 63: 1838; 1993.

Lin, Q. M., Z. H. Rao, Y. X. Sun, J. Yao, and L. J. Xing. 2002. Identification and practical application of silicate dissolving bacteria. Agricultural Sciences in China 1 (1): 81-85.

Linderman, R. G. and E. A. Davis. 2004. Soil amendment with different peatmosses affects mycorrhizae of onion. HortTechnology 13 (2):285-289.

Lindow, S. E., D. C. Arny, and C. D. Upper. 1978a. *Erwinia herbicola*: a bacterial ice nucleus active in increasing frost injury to corn. Phytopathology 68: 523-527.

Lindow, S. E., D. C. Arny, C. D. Upper and W. R. Barchet. 1978b. The role of bacterial ice nuclei in frost injury to sensitive plants. In: P. H. Li and A. Saki (Eds) "Plant Cold Hardiness and Freezing Stress: Mechanisms and Crop Implications"; pp. 249-263. Academic Pr., N. Y.

Lipton, W. J. and C. Y. Wang. 1987. Chilling exposures and ethylene treatment change the level of ACC in 'Honey Dew' melons. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112: 109-112.

Liu, L., W. Kloepper, and S. Tuzun. 1995a. Induction of systemic resistance tin cucumber against Fusarium wilt by plant growth-promoting rhizobacteria. Phytopathology 85: 695-698.

Liu, L., J. W. Kloepper, and S. Tuzun. 1995b. Induction of systemic resistance in cucumber against bacterial angular leaf spot by plant growth-promoting rhizobacteria. Phytopathology 85: 843-847.

Lockwood, D. and H. M. Vines. 1972. Red color enhancement of Pimiento peppers with (2-chloroethyl) phosphonic acid. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97: 192-197.

Longuenesse, J. J. and C. Leonardi. 1994. Some ecophysiological indicators of salt stress in greenhouse tomato plants. Acta Hort. 366: 461-467.

Lopez, M. V. and S. M. E. Satti. 1996. Calcium and potassium-enhanced growth of tomato under sodium chloride stress. Plant Science (Limerick) 114 (1): 19-27.

Lopez, C. M. L., H. Takahashi, and S. Yamazaki. 2002. Plant-water relations of kidney bean plants treated with NaCl and foliarly applied glycinebetaine. J. Agron. Crop Sci. 188 (2): 73-80.

Lopez-Galarza, S. et al. 2004. Effects of grafting and cytokinin-induced fruit setting on colour and sugar-content traits in glasshouse-grown triploid watermelon. J. Hort. Sci. Biotechnol. 79 (6): 971-976.

Lorenz, O. A. and D. N. Maynard. 1980. Knott's handbook for vegetable growers (2nd ed.). Wiley-Interscience, N. Y. 390 p.

Lower, R. L., C. H. Miller, F. H. Baker, and C. L. McCombs. 1970. Effects of a 2-chloroethylphosphonic acid treatment at various stages of cucumber development. HortScience 5: 433-434.

Loy, J. B. 1971. Effects of (2-chloroethyl) phosphonic acid and succinic acid-2,2-dimethlydrazide on sex expression in muskmelon. J. Amer-Soc. Hort. Sci. 96: 641-644.

Loy, B. 1978. Regulation of sex expression in gynomoecious muskmelon for hybrid seed production. Cucucrbit Gentics Cooperative Report No. 1:18.

Lukatkin, A. S. and T. E. Levina. 1997. Effect of exogenous modifiers of lipid peroxidation in chilling injury in cucumber leaves. Russian J. Plant Physiol. 44 (3): 343-348. c.a. Hort. Abstr. 67 (10): 8537; 1997.

Lyons, J. M., D. Graham, and J. K. Raison (Eds.). 1979. Low temperature stress in crop plants: The role of the membrane. Academic Pr., N. Y. 656 p.

Ma, Q. F. and F. Murray. 1991. Responses of potato plants to sulphur dioxide, water stress and their combination. New Phytologist 118 (1): 101-109.

Maboko, M. M., I. Bertling, and C. P. du Plooy. 2013. Effect of arbuscular mycorrhiza and temperature control on plant growth, yield, and mineral content of tomato plants grown hydroponically. HortScience 48 (12): 1470-1477.

MacDonald, M. T., R. R. Lada, J. Hoyle, and A. R. Robinson. 2009. Ambiol preconditioning can induce drought tolerance in abscisic acid-deficient tomato seedlings. HortScience 44: 1890-1894.

MacDonald, M. T., R. R. Lada, A. R. Robinson, and J. Hoyle. 2009. Seed preconditioning with natural and synthetic antioxidants induces drought tolerance in tomato seedlings. HortScience 44: 1323-1329.

Mahajan, S. and N. Tuteja. 2005. Cold, salinity and drought stresses: an overview. Archives of Biochemistry and Biophysics 444: 139-158.

Mahotiere, S., C. Johnson, and P. Howard. 1989. Influence of dikegulac sprays on shoot emergence and growth of asparagus. HortScience 24: 468-469.

Mahotiere, S., C. Johnson, and P. Howard. 1993. Stimulating asparagus seedling shoot production with benzyladenine. HortScience 28 (3): 229.

Makela, P. et al. 1997. Growth response of pea and summer turnip rape to foliar application of glycinebetaine. Acta Agr. Scandinavica Section B, Soil and Plant Science 47 (3): 168-175. c.a. Field Crop Abstr. 51 (9): 6800; 1999.

Makela, P. et al. 1998. Foliar application of glycinebetaine – a novel product from sugar beet – as an approach to increase tomato yield. Industrial Crops and Products 7 (2-3): 139-148.

Maksimovic, J. et al. 2012. Silicon ameliorates manganese toxicity in cucumber by decreasing hydroxyl radical accumulation in the leaf apoplast. J. Exp. Bot. 63 (7): 2411-2420.

Maletta, M. and H. W. Janes. 1987. Interrelation of root and shoot temperatures on dry matter accumulation and root growth in tomato seedlings. J. Hort. Sci. 62: 49-54.

Malik, V. S. 1999. Biotechnology: multibillion dollar industry, pp. 1-69. In: V. L. Chopra, V. S. Malik, and S. R. Bhat (eds.). Applied plant biotechnology. Scince Publishers, Inc., Enfield, N H, USA.

Mamat, A. S. B., J. F. Fontenot, and D. W. Newsom. 1983. The effects of triacontanol on the growth and development of Tobasco pepper. HortScience 18: 247-249.

Manassah, J. T. and E. J. Briskey (Eds). 1981. Advances in food-producing systems for arid and semiarid lands. Academic Pr., N. Y. Parts & B. 1274 p.

Mano, Y. and F. Omori. 2007. Breeding for flooding tolerant maize using "teosinte" as a germphasm resource. Plant Root 1: 7-21.

Mansour, M. M. F. and H. M. Al-Mutawa. 1999. Stabilization of plasma membrane by polyamines against salt stress. Cytobios 100 (393): 7-17.

Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London.

Marchmer, P., D. E. Crowley, and R. M. Higashi. 1997. Root exudation and physiological status of a root-colonizing fluorescent pseudomonad in mycorrhizal and non-mycorrhizal pepper (*Capsicum annuum* L.). Plant and Soil 189 (1): 11-20.

Markarov, A. M., T. K. Golovko, and G. N. Tabalenkova. 1993. Photoperiodic responses in morphological and functional characteristics of three potato species. Soviet Plant Physiol. 40 (1): 32-36. c.a. Field Crop Abstr. 47 (2): 1113; 1994.

Marco, S., O. Ziv., and R. Cohen 1994. Suppression of powdery mildew in squash by applications of whitewash, clay and antiranspirant materials. Phytoparasitica 22 (1): 19-29. (c.a. Hort. Abstr. 1994, 64: 7046).

Mårtensson, A. and I. Rydberg. 1994. Variability among pea varieties for infection with arbuscular mycorrhizal fungi. Swedish Journal of Agricultural Research 24 (1): 13-19. (c.a. Plant Breed. Abstr. 1994, 64: 11753).

Mass, E. V. 1984. Crop tolerance. California Agric. 38 (10): 20-22.

Mastouri, F., T. Bjorkman and G. E. Harman. 2010. Seed treatment with *Trichoderma harzianum* alleviates biotic, abiotic, and physiological stress in germinating seeds and seedlings. Phytopathology 100 (11): 1213-1221.

Matheny, T. A., P. G. Hunt, and M. J. Kasperbauer. 1992. Potato tuber production in response to reflected light from different colored mulches. Crop Sci. 32 (4): 1021-1024.

Matsubara, Y. and T. Harada. 1997. Enhancement of asparagus seedling growth through arbuscular mycorrhizal fungus inoculation. Acta Hort. No. 440: 223-226.

Matsubara, Y. I., T. Harada, and T. Yakuwa. 1994. Effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi inoculation on seedling grown in several species of vegetable crops. (In Japanese with English summary). J. Jap. Soc. Hort. Sci. 63 (3): 619-628. c.a. Hort. Abstr. 65: 7872; 1995.

Matsubara, Y., Y. Kayukawa, and H. Fukui. 2000. Temperature-stress tolerance of asparagus seedlings through symbiosis with arbuscular mycorrhizal fungus. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 69 (5): 570-575.

Matsuo, E. 1968. Studies on the photoperiodic sex differentiation in cucumber, *Cucumis sativus* L. I. Photoperiodic and temperature conditions for sex differentiation. J. Fac. Agr., Kyushu Univ. 14: 483-506.

Mauromicale, G. and A. Lerna. 1995. Effects of gibberellic acid and sowing date on harvest time and yields of seed-grown globe artichoke (*Cynara scolymus* L.). Agronomie 15 (9/10): 527-538.

Mayak, S., T. Tirosh, and B. R. Glick. 2001. Stimulation of the growth of tomato, pepper and mung bean plants by the plant growth-promoting bacterium *Enteobacter cloacae*. Biological Agriculture & Horticulture 19 (3): 261-274.

Mayberry, K. S. 1983. A grower's guide to solving salt problems. Univ. Calif., Div. Agric. Sci. Leaflet 21350. 4 p.

Mayer, A. M. and A. Poljakoff-Mayber. 1982. The germination of seeds. (3rd ed.). Pergamon Pr., Oxford. 211 p.

McArthur, D. A. J. and N. R. Knowles. 1992. Resistance responses of potato to vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi under varying abiotic phosphorus levels. Plant Physiol. 100 (1):341-351.

McGiffen, M. M., Jr., R. L. Green, J. A. Manthey, B. A. Faber, A. J. Downer, N. J. Sakovich, and J. Aguiar. 1995. Field tests of methanol as a crop yield enhancer. HortScience 30 (6): 1225-1228.

McGiffen, M. E., Jr. and J. A. Manthey. 1996. The role of methanol in promoting plant growth: a current evaluation. HortScience 31 (7): 1092-1096.

Mckee, J. M. T. 1981. Physiological aspects of transplanting vegetables and other crops. II. Methods used to improve transplant establishment. Hort. Abstr. 51 (6): 355-368.

McMurray, A. L. and C. H. Miller. 1969. The effect of 2-chloroethanephosphonic acid (ethrel) on the sex expression and yield of *Cucumis sativus*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94: 400-402.

Mekhemar, G. A. A. and A. A. Al-Kahal. 2002. Enhancement of growth, nodulation and yield of bean plants by soil inoculation with *Saccharomyces cerevisiae*. Bul. Fac. Agr., Cairo Univ. 53 (3): 489-501.

Mena-Violante, H. G. and V. Olade-Portugal. 2005. Alteration of tomato fruit quality by root inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): *Bacillus subtilis* BEB-13bs. Sci Hort. 113 (1): 103-106.

Mercado, J. A., M. S. Reid, V. Valpuesta, and M. A. Quesada. 1997. Metabolic changes and susceptibility to chilling stress in *Capsicum annuum* plants grown at suboptimal temperature. Aust. J. Plant Physiol. 24 (6): 759-767.

Mersie, W., T. Mebrahtu, and M. Rangappa. 1990. Evaluation of bean introduction for ozone insensitivity. HortScience 25: 1581-1582.

Metha, A. K. and P. J. Mathai. 1975. Effect of growth regulation on summer tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Haryana J. Hort. Sci. 4: 167-176.

Miao, M., X. Yang, X. Han, and K. Wang. 2011. Sugar signalling is involved in the sex expression response of monoecious cucumber to low temperature. J. Exp. Bot. 62 (2): 797-804.

Miller, R. L. and L. E. Jackson. 1998. Survey of vesicular-arbuscular mycorrhizae in lettuce production in relation to management and soil factors. J. Agr. Sci. 130 (2): 173-182.

Miller, J. C., Jr., S. Rajapakse, and R. K. Garber. 1986. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in vegetable crops. HortScience 21: 974-984.

Mizrahi, Y. and D. Pasternak. 1985. Effect of salinity on quality of various agricultural crops. Plant and Soil 89: 301-307.

Mohsenian, Y. and H. R. Roosta. 2015. Effects of grafting on alkali stress in tomato plants: datura rootstock improve alkalinity tolerance of tomato plants J. Plant Nutr. 38 (1): 51-72.

Mojecka-Berova, M. and V. Kerin. 1995. Regulation of green pepper vegetative growth and fruit-bearing capacity with paclobutrazol. Bulgarian J. Agr. Sci. 1 (3): 253-257. c.a. Hort. Abstr. 67: 2177; 1997.

Moller, M. and M. L. Smith. 1998. The significance of the mineral component of seaweed suspensions on lettuce (*Lactuca sativa* L.) seedling growth J. Plant Physiol. 153(5/6): 658-663.

Monstesano, F. and M. W. van Iersel. 2007. Calcium can prevent toxic effects of Na^+ on tomato leaf photosynthesis but does not restore growth. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 132.

Morard, P., B. Eyheraguibel, M. Morard, and J. Silvestre. 2011. Direct effects of humic-like substance on growth, water, and mineral nutrition of various species. J. Plant Nutr. 34 (1): 46-59.

Moratiel, R., J. M. Durán, and R. L. Snyder. 2011. Freezing resistance in tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) using potential cryprotectors. Europ. J. Hort. Sci. 76 (1): 12-17.

Mori, B., P. Vernieri, A. Pardossi, and F. Tognoni. 1995. Response of bean plants to chilling: comparison between primary and trifoliate leaf stage. Adv. Hort. Sci. 9 (3): 144-147.

Mouhouche, B., F. Ruget, and R. Delécolle. 1998. Effect of water stress applied at different phenological phases on yield components of dwarf bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Agronomie 18 (3): 197-207.

Mudd, J. B. 1975. Sulfur dioxide, pp. 9-22. In: J. B. Mudd and T. T. Kozlowski (eds.). Responses of plants to air pollution. Academic Press, N. Y.

Mudd, J. B. and T. T. Kozlowski (Eds). Responses of plants to air pollution. Academic P r., N. Y. 383 p.

Muller, J. 1999. Mycorrhizal fungal structures are stimulated in wild type peas and in isogenic mycorrhiza-resistant mutants by tri-iodo-benzoic acid (TIBA), an auxin-transport-inhibitor. Symbiosis (Rehovot) 26 (4): 379-389.

Mungkunkamchao, T. et al. 2013. Wood vinegar and fermented biotxtracts: natural products to enhance growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Sci. Hort. 154: 66-72.

Munns, R., S. S. Goyal, and J. Passioura. 2011. Salinity stress and its mitigation. http://www.plantstress.com .

Myers, O., Jr. 1986. Breeding soybeans for drought resistance. Plant Breed. Rev. 4: 203-243.

Nachmias, A. et al. 1993. Effects of salinity and its interactions with disease incidence on potatoes grown in hot climates. Phytoparasitica 21 (3): 245-255.

Nadakavukaren, M. and D. McCracken. 1985. Botany: an introduction to plant biology. West Pub. Co., N. Y. 591 p.

Nadler, A. and B. Heuer. 1995. Effect of saline irrigation and water deficit on tuber quality. Potato. Res. 38 (2): 119-123.

Naghighi, M., J. France, M. H. Behboudian, and T. M. Mills. 2013. Fruit quality responses of 'Petoride' processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) to partial rootzone drying. J. Hort. Sci. Biotechnol. 88 (2): 154-158.

Nahiyan, A. M. and Y. I. Matsubara. 2012. Tolerance to fusarium root rot and changes in antioxidative ability in mycorrhizal asparagus plants. HortScience 47 (3): 356-360.

Nakano, A. and Y. Uehara. 1997. The effects of kaolin clay on cuticle transpiration in tomato. Acta. Hort. No. 440: 233-238.

Navarro, J. M., M. A. Botella, and V. Martinez. 1999. Yield and fruit quality of melon plants grown under saline conditions in relation to phosphate and calcium nutrition. J. Hort. Sci. Biotechnol. 74 (5): 573-578.

Navarro, J. M., C. Garrido, M. Carvajal, and V. Martinez. 2002. Yield and fruit quality of pepper plants under sulphate and chloride salinity. J. Hort. Sci. Biotechnol. 77 (1): 52-57.

NeSmith, D. S. 1997. Summer squash (*Cucurbita pepo* L.) leaf number as influenced by thermal time. Sci. Hort. 68 (1/4): 219-225.

NeSmith, D. S. and G. Hoogenboom. 1994. Variation in the onset of flowering of summer squash as a function of days and heat units. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 199 (2): 249-252.

NeSmith, D. S., G. Hoogeboom, and D. W. Groff. 1994. Staminate and pistillate flower production of summer squash in response to planting date. HortScience 29 (4): 256-257.

Newton, A. C., S. N. Johnson, and P. J. Gregory. 2011. Implications of climate change for diseases, crop yields and food security. Euphytica 179: 3-18.

Nickell, L. G. 1982. Plant growth regulators: Agricultural uses. Springer-Verlag, N. Y. 173 p.

Nielsen, K. L., T. J. Bouma, J. P. Lynch, and D. M. Eissenstat. 1998. Effects of phosphorus availability and vesicular-arbuscular mycorrhizas on the carbon budget of common bean (*Phaselous vulgaris*). New Phytologist 139 (4): 647-656.

Nishizawa, T. et al. 1998. Acetaldehyde, ethanol, and carbohydrate concentrations in developing muskmelon fruit (*Cucumis melo* L. cv. Andesu) are affected by short-term shading. HortScience 33: 992-994.

Nishizawa, T., A. Ito, Y. Motomura, M. Ito, and M. Togashi. 2000. Changes in fruit quality as influenced by shading of netted melon plants (*Cucumis melo* L. 'Andesu' and 'Luster'). J. Jap. Soc. Hort. Sci. 69: 563-569.

Nitsch, J. P. 1962. Basic physiological processes affecting fruit development pp. 5-21. In: Campbell Soup Company. Proceedings of Plant Science Symposium. Camden, N. J.

Nitsch, J. P., E. B. Kurts, Jr., J. L. Liverman, and F. W. Went. 1952. The development of sex expression in cucurbit flowers. Amer. J. Bot. 39: 32-43.

Nitzsche, P., G. A. Berkowitz. and J. Rabin. 1991. Development of a seedling-applied antitranspirant formulation to enhance water status, growth, and yield of transplanted bell pepper. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116:405-411.

Nkansah, G. O. and T. Ito. 1994a. Relationship between some physiological characters and yield of heat-tolerant, non-tolerant, and tropical tomato cultivars grown at high temperature. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 62 (4): 781-788. c.a. Hort. Abstr. 65: 1335; 1996.

Nkansah, G. O., and T. Ito. 1994b. Comparative studies on growth and development of heat-tolerant and non heat-tolerant tomato plants grown at different root-zone temperature. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 62 (4): 775-780. c.a. Hort. Abstr. 65: 1313; 1995.

Njiti, V. N. et al. 2013. Influence of prohexadione calcium on sweet potato growth and storage root yield. HortScience 48 (1): 73-76.

Nogués, S., D. J. Allen, J. I. L. Morison, and N. R. Baker. 1998. Ultraviolet-B radiation effects on water relations, leaf development, and photosynthesis in droughted pea plants. Plant Physiol. 117 (1): 173-181.

Norrie, J. and D. A. Hiltz. 1999. Seaweed extract research and applications in agriculture. Agro Food Industry Hi-Tech 10 (2): 15-18.

Novitskaya, G. V., N. V. Astakhova, T. A. Suvorova, and T. I. Trunova. 1999. The role of the membrane lipid component in the chilling tolerance of cucumber plants. Russian J. Plant Physiol. 46 (4): 537-543. c.a. Hort. Abst. 69 (11): Abst. 9468; 1999.

Ntatsi, G., D. Savvas, U. Druege, and D. Schwarz. 2013. Contribution of phytohormones in alleviating the impact of sub-optimal temperature stress on grafted tomato. Sci. Hort. 149: 28-38.

Ntatsi, G., D. Savvas, G. Ntatsi, H.-P. Klaring, and D. Schwarz. 2014. Growth, yield, and metabolic responses of temperature-stressed tomato to grafting onto rootstocks differing in cold tolerance. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 139 (2): 230-243.

Oda, M., Z. Li, K. Tsuji, K. Inchimura, and H. Sasaki. 1993. Effects of humidity and soil moisture content on chlorophyll fluorescence of cucumber seedlings exposed to high air temperature. (In Japanese with English summary). J. Jap. Soc. Hort. Sci. 62 (2): 399-405. c.a. Hort. Abstr. 65: 3052; 1995.

Odegabro, O. A. and O. E. Smith. 1969. Effect of kinetin, salt concentration and temperature on germination of early seedling growth of *Lactuca sativa* L. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94: 167-170.

O'Dell, C. 2003. Natural plant hormones are biostimulants helping plants develop higher plant antioxidant activity for multiple benefits. Virginia Vegetable, Small Fruit and Specialty Crops 2, Issue 6. (The Internet).

Olive, J. W. and S. M. McCarter. 1988. Occurrence and nature of ice nucleation-active strains of *Pseudomonas syringae* on apple and peach trees in Georgia. Plant Dis. 72: 837-843.

Oliver, F. C. and J. G. Annandale. 1998. Thermal time requirements for the development of green pea (*Pisum sativum* L.). Field Crops Res. 56 (3): 301-307.

Olle, M. and I. H. Williams. 2013. Effective microorganisms and their influence on vegetable production – a review . J. Hort. Sci. Biotechnol. 88 (4): 380-386.

Olsen, J. K., J. T. Schaefer, D. J. Edwards, M. N. Hunter, V. J. Galea, and L. M. Muller. 1995. effects of mycorrhizae, established from an existing intact hyphal network, on the growth response of capsicum (*Capsicum annuum* L.) and rates of applied phosphorus. Australian J. Agric. Res. 50 (2): 223-237.

Olsen, J. K., J. T. Schaffer, M. N. Hunter, D. G. Edwards, V. J. Galea, and L. M. Muller. 1996. Response of capsicum (*Capsicum annuum* L.), sweet corn (*Zea mays* L.), and tomto (*Lycopersicon esculentum* Mill.) to inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhizae. Australian J. Agric. Res. 47 (5): 651-671.

Olsen, J. K., J. T. Schaefer, D. G. Edwards, M. N. Hunter, V. J. Galea, and L. M. Muller. 1999. Effects of a network of mycorrhizae on capsicum (*Capsicum annuum* L.) grown in the field with five rates of applied phosphorus. Australian J. Agric. Res. 50 (2): 239-252.

Olson, D. C., J. H. Oetiker, and S. F. Yang. 1995. Analysis of LE-ACS3, a 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase gene expressed during flooding in the roots of tomato plants. J. Biol. Chem. 270 (23): 14056-14061.

Ormrod, D. P., N. O. Adedipe, and D. J. Ballantyne. 1976. Air pollution injury to horticultural plants: A review. Hort. Abstr. 46: 241-248.

Ortas, I., N. Sari, C. Akpinar, and H. Yetisir. 2011. Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling growth under greenhouse conditions. Sci. Hort. 128: 92-98.

Ortiz, A., V. Martinez, and a. Cerdá. 1994. Effects of osmotic shock and calcium on growth and solute composition of *Phaseolus vulgaris* plant. Phys. Plant. 91 (3): 468-476.

Osman, A. S. and M. M. Rady. 2012. Ameliorative effects of sulphur and humic acid on the growth, antioxidant levels, and yield of pea (*Pisum sativum* L.) plants grown in reclaimed saline soil. J. Hort. Sci. Biotechnol. 87 (6): 626-632.

Owens, K. W., G. E. Tolba, and C. E. Peterson. 1980. Induction of staminate flowers on gynoecious cucumber by aminoethoxyvinylglycine. HortScience 15: 256-257.

Ozguven, A. I. and C. Yilmaz. 2002. The effect of gibberellic acid treatments on the yield and fruit quality of strawberry (*Fragaria* × *ananassa*) cv. Camarosa. Acta Hort. No. 567 (Vol. 1.): 277-280.

Oztekin, G. B., Y. Tuzel, and I. H. Tuzel. 2013. Does mycorrhiza improve salinity tolerance in grafted plants?. Sci. Hort. 149: 55-60.

Paleg. I. G. and D. Appinall (eds.). 1980. The physiology and biochemistry of drought resistance in plants. Academic Press, N. Y. 492 p.

Palta, J. W. 1992. Mechanisms for obtaining freezing stress resistance in herbaceous plants, pp. 219-250. In: H. T. Stalker and J. P. Murphy (eds.). Plant Breeding in the 1990s. CAB International, Wallingford, UK.

Palti, J. 1981. Cucltural practices and infectious crop diseases. Springer-Verlag, Berlin. 243 p.

Pandey, J. and M. Agrawal. 1994. Growth responses of tomato plants to low concentrations of sulphur dioxide and nitrogen dioxide. Sci. Hort. 58 (1-2): 67-76.

Pant, N. Q. et al. 2012. Seed germination and seedling growth of tomato and lettuce as affected by vermicompost water extracts (Teas). HortScience 47 (12): 1722-1728.

Papadopoulos, I. and V. V. Rending. 1983. Tomato plant response to soil salinity. Agron. J. 75: 696-700.

Paradikovic, N. et al. 2011. Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: an example of sweet yellow pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. J. Sci. Food Agric. 91: 2146-2152.

Paradis, R., B. Cuocolo, and S. De Pascale. 2007. Gibberellic acid and nitrogen rate affect yield and quality of artichoke. Acta Hort.. No. 730: 211-216.

Parent, C., N. Capelli, A. Berger, M. Crèvecoeur, and J. F. Dat. 2008. An overview of plant responses to soil waterlogging. Plant Stress 2 (1): 20-27.

Park, H. Y., K. C. Son, E. G. Gu, K. B. Lim, and B. H. Kim. 1996. Effect of different day and night temperature regimes on the growth of hot pepper plug seedlings. (In Korean with English summary). J. Korean Soc. Hort. Sci. 37 (5): 617-621. c.a. Hort. Abstr. 67: 1314; 1997.

Paroussi, G., D. G. Voyiatzis, E. Paroussis, and P. D. Drogoudi. 2002. Effect of GA_3 and photoperiod regime on growth and flowering in strawberry. Acta Hort. No. 567 (vol.1): 273-276.

Parris, N., D. D. Douds, Jr., L. C. Dickey, R. A. Moreau, and J. Phillips. 2004. Effect of Zein films on the growth of tomato plants and evaporative water loss. HortScience 39 (6): 1324-1326.

Parsons, L. R. 1979. Breeding for drought resistance: what plant characteristics impair resistance?. HortScience 14: 590-593.

Parsons, L. R. and B. J. Boman. 2003. Microsprinkler irrigation for cold protection of Florida citrus. University of Florida, IFAS Extension. 13 p. The Internet.

Paspatis, E. A. 1995. Effects of gibberellic acid (GA_3) application and nitrogen fertilization on yield and quality of celery. Annales de l'Institut Phytopathologique Benaki 17 (2): 131-139. c.a. Hort. Abstr. (67(3): 2271; 1997.

Passam, H. C., C. M. Olympios, and K. Akoumianakis. 1995. The influence of pre- and post-harvest application of seaweed extract on early production and storage of cucumber. Acta Hort. No. 379: 229-235.

Pastences, C. and P. Horton. 1995. The effect of high temperature on photosynthesis, pp. 789-792. In: P. Mathis. Photosynthesis: from light to biosphere. Vol. IV. Kluwer Academic Pub., Dordrecht Netherlands.

Pavlista, A. D. 1993. Morphological changes and yield enhancement of superior potatoes by AC 243,654. Amer. Potato J. 70 (1): 49-59.

Pavlista, A. D., G. Hergert, D. K. Santra, and J. A. Schild. 2013. Improving bean harvest with gibberellic acid. HortTechnology 23 (3): 282-287.

Payghami, E., S. Massiha, B. Ahary, M. Valizadeh, and A. Motallebi. 2001. Enhancement of growth of onion (*Allium cepa* L.) by biological control agent *Trichoderma* spp. Acta Agronomica Hungarica 49 (4): 393-395.

Peix, A., P. F. Mateos, C. Rodriguez-Barrueco, E. Martinez-Molina, and E. Velazquez 2001. Growth promotion of common bean (*Phaseolus vugaris* L.) by a strain of *Burkholderia cepacia* under growth chamber conditions. Soil Biol. Biochem. 33(14): 1927-1935.

Pena-Valdivia, C. B., L. del C. Lagunes, and R. H. R. Perales. 1994. Chilling effects on leaf photosynthesis and seed yield of *Phaseolus vulgaris*. Canadian J. Bot. 72 (10): 1403-1411.

Perez-Alfocea, F., M. T. Estan, A. Santa Cruz, and M. C. Bolarin. 1993. Effects of salinity on nitrate, total nitrogen, soluble protein and free amino acid levels in tomato plants. J. Hort. Sci. 68 (6): 1021-1027.

Perez-Garcia, F., J. M. Pita, M. E. Gonzales-Benito, and J. M. Iriondo. 1995. Effects of light, temperature and seed priming on germination of celery seeds (*Apium graveolens*). Seed Sci. Technol. 23 (2): 377-383.

Perkins-Veazie, P. 1995. Growth and ripening of strawberry fruit. Hort. Rev. 17: 267-297.

Perry, K. B., A. R. Bonanno, and D. W. Monks. 1992. Two putative cryoprotectants do not provide frost and freeze protection in tomato and pepper. HortScience 27: 26-27.

Petitte, J. M. and D. P. Ormrod. 1992. Sulfur dioxide and nitrogen dioxide affect growth, gas exchange, and water relations of potato plants. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117 (1): 146-153.

Petrozza, A. et al. 2014. Physiological responses to Megafol treatments in tomato plants under drought stress: a phenomic and molecular approach. Sci. Hort. 174: 185-192.

Pharr, D. M., J. M. H. Stoop, J. D. Williamson, M. E. Studer Feusi, M. O. Massel, and M. A. Cooking. 1995. The dual role of mannitol as osmoprotectant and photoassimilate in celery. HortScience 30 (6): 1182-1188.

Picken, A. J. F. 1984. A review of pollination and fruit set in the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). J. Hort. Sci. 59: 1-13.

Picken, A. J. F. and M. Grimmett. 1986. The effects of two fruit setting agents on the yield and quality of tomato fruit in glasshouse in winter. J. Hort. Sci. 61: 243-250.

Piringer, A. A. 1962. Photoperiodic responses of vegetable plants, pp. 173-185. In: Proceedings of plant science symposium. Campbell Soup Co., Camden, N. J.

Pirlak, L. and M. Kose. 2009. Effects of plant growth promoting rhizobacteria on yield and some fruit properties of strawberry. J. Plant Nutr. 32 (7): 1173-1184.

Plaut, Z. and A. Grava. 2000. Improvement of tomato fruit quality with brackish water, under optimal irrigation management. Acta Hort. No. 537 (Vol. 2) 611-620.

Ponnamperuma, F. N. 1982. Breeding crop plants to tolerate soil stresses, pp. 75-97. In: I. K. Vasil, W. R. Scowcroft, and K. J. Frey (eds.). Plant improvement and somatic cell genetics. Academic Press, N. Y.

Poulton, J. L., R. T. Koide, and A. G. Stephenson. 2001. Effects of mycorrhizal infection, soil phosphorus availability and fruit ptoduction on the male function in two cultivars of *Lycopersicon esculentum*. Plant, Cell and Enviroment 24 (8): 841-849.

Poysa, V. W., C. W. Tan, and J. A. Stone. 1987. Flooding stress and the root development of several tomato genotypes. HortScience 22: 24-26.

Preil, W. and R. Seimann. 1969. Investigations on the effect of different environmental factors on the pollen viability of tomatoes *Lycopersicon esculentum*, especially those with hereditary tendencies towards parthencoarpy. (In German). Angew. Bot. 43: 175-193.

Pressman, E. 1997. Celery, pp. 287-407. In: H. C. Wien (ed.). The physiology of vegetable crops. CAB International, Wallingford, UK.

Prior, S. A. et al. 2011. A review of elevated atmospheric CO_2 effects on plant growth and water relations: implications for horticulture 46: 158-162.

Proebsting, E. L., Jr. and D. C. Gross. 1988. Field evaluations of frost injury to deciduous fruit trees as influenced by ice nucleation-active *Pseudomonas syringae*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113: 498-506.

Pulupol, L. C., M. H. Behoudian, and K. J. Fisher. 1996. Growth, yield, and postharvest attributes of glasshouse tomatoes produced under deficit irrigation. HortScience 31 (6): 926-929.

Pumphrey, F. W. and R. E. Raming. 1990. Field response of peas to excess heat during the reproductive stage of growth. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115 (6): 898-900.

Quisenberry, J. E. 1979. Breeding for drought resistance and plant water use efficiency, pp. 193-212. In: H. Mussell and R. C. Staples (eds.). Stress physiology in crop plants. John Wiley & Sons, N. Y.

Rab, A. and M. E. Saltveit. 1996. Sensitivity of seedling radicles to chilling and heat-shock-induced chilling tolerance. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 121(4): 711-715.

Rabe, E. 1990. Stress physiology: the functional significance of the accumulation of nitrogen-containing compounds. J. Hort. Sci. 65: 231-243.

Raeini-Sarjaz, M. and N. N. Barthakur. 1995. Antagonistic effects of root zone temperature and iron on phosphorus uptake by bush bean. J. Plant Nutr. 18 (6): 1315-1321.

Rainey, K. M. and P. D. Griffiths. 2005. Diallel analysis of yield components of snap beans exposed to two temperature stress environments. Euphytica 142: 43-53.

Rains, D. W. 1979. Salt tolerance of plants: strategies of biological systems. In: A. Hollander, J. C. Aller. E. Epstein, A. San Pirtro, and O. R. Zaborsky (Eds) "The Biosaline concept: An Approach to the Utilization of Under Exploited Resources"; pp. 47-67. Pelnum Pr., N. Y.

Rains, D. 1981. Salt tolerance - new developments, pp. 431-456. In: J. T. Manassah and E. J. Briskey (eds.). Advances in food-producing systems for arid and semiarid lands. Academic Press, N. Y.

Rairez, H., M. Pérez, R. Ferrer, and N. Suarez. 1997. Effect of phosphogypsum on the crusting of seedbed of onion (*Allium cepa* L.). Acta Hort. No. 433: 533-536.

Rajasekaran, L. R. and T. J. Blake. 2002. Seed pre-treatment using a derivative of 5-hydroxybenzimidazole (AMBIOL) preacclimates carrot seedlings to drought. Canadian J. Plant Sci. 82 (1): 195-202.

Rajashekar, C. B. and M. Panda. 2014. Water stress is a component of cold acclimation process essential for inducing full freezing tolerance in strawberry. Sci. Hort. 174: 54-59.

Rajput, C. B. S. and D. P. Ormrod. 1986. Stimulation of plant growth in pumpkin by ozone. HortScience 21: 498-499.

Ramin, A. A. 2003. Effects of auxin application on fruit formation in tomato growing under stress temperatures in the field. J. Hort. Sci. Biotechnol. 78 (5): 706-710.

Rao, N. K. S. 1985. The effects of antitranspirants on leaf water status, stomatal resistance and yield in tomato. J. Hort. Sci. 60: 89-92.

Rastovski, A., A. van Es et al. 1981. Storage of potatoes. Center for Agr. Pub. Doc., Wageningen. 462 p.

Read, P.E. 1982. Plant growth regulator use in field-scale vegetable crops, pp. 285-296. In: J. S. McLaren (ed.). Chemical manipulation of crop growth and development. Butterworth Scientific, London.

Read, P. E. and D. J. Fieldhouse. 1970. Use of growth retardants for increasing tomato yields and adaptation for mechanical harvest. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95: 73-78.

Reinert, R. A., G. Eason, and J. Baron. 1997. Growth and fruiting of tomato as influenced by elevated carbon dioxide and ozone. New Phytologist 137 (3): 411-420.

Reinhard, S., E. Weber, P. Martin, and H. Marchner. 1994. Influence of phosphorus supply and light intensity on mycorrhizal response in *Pisum-Rhizobium-Glomus* symbiosis. Experimentia 50 (10): 890-896. c.a. Field Crop Abstr. 48 (7): 5207; 1999.

Reitz, S. R., G. Maiorino, S. Olson, R. Sperenkel, A. Crescenzi, and M. T. Momol. 2008. Integrating plant essential oils and kaolin for the sustainable management of thrips and tomato spotted wilt on tomato. Plant Dis. 92 (6): 878-886.

Rex, B. L. and G. Mazza. 1989. cause, control and detection of hollow heart in potatoes: a review. Amer. Potato J. 66: 165-183.

Reyes, E. and P. H. Jennings. 1994. Response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) and squash (*Cucurbita pepo* L. var. *melopepo*) roots to chilling stress during early stages of seedling development. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119 (5): 964-970.

Reyes, E. and P. H. Jennings. 1997. Effects of chilling on respiration and induction of cyanide-resistant respiration in seedling roots of cucumber. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 122 (2): 190-194.

Reynolds, M. P., S. Nagarajan, M. A. Razzaque, and O. A. A. Ageeb. 2001. Heat tolerance, pp. 124-135. In: M. P. Reynolds, J. I. Ortiz-Monasterio, and A. McNab (eds.). Application of physiology in wheat breeding. SIMMYT, Mexico, D. F.

Rivero, R. M., J. M. Ruiz, and L. Romero. 2004. Oxidative metabolism in tomato plants subjected to heat stress. J. Hort. Sci. Biotechnol. 79 (4): 560-564.

Robinson, R. W. and D. S. Decker-Walters. 1997. Cucurbits. CAB International, Wallingford, U. K.

Rodriquez, B. P. and V. N. Lambeth. 1972. Synergism and antagonism of GA and growth inhibitors on growth and sex expression in cucumber. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97: 90-92.

Romero-Aranda, R. and J. Longuenesse. 1995. Modelling the effect of air vapour pressure deficit on leaf photosynthesis of greenhouse tomatoes: The importance of leaf conductance to CO_2. J. Hort. Sci. 70 (3): 423-432.

Roos, J., R. Hopkins, A. Kvarnheden, and C. Dixelius. 2011. The impact of global warming on plant diseases and insect vectors in Sweden. Eur. J. Plant Pathol. 129: 9-19.

Rosendahl, C. N. and S. Rosendahl. 1991. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus* spp.) on the response of cucumber (*Cucumis sativus* L.) to salt stress. Env. Exp. Bot. 31 (3): 313-318.

Rosso, V. M. and C. L. Biles. 1996. Incubation temperature affects changes in cucumber seed proteins and mineral content. Seed Sci. Technol. 24 (2): 339-346.

Rowe, R. N., D. J. Farr, and B. A. J. Richards. 1994. Effects of foliar and root applications of methanol or ethanol on the growth of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill). N.Z.J. Crop Hort. Sci. 22 (3): 335-337.

Rubatzky, V. E., C. F. Quiros, and P. W. Somon. 1999. Carrots and related vegetable umbelliferae. CABI Pub., Wallingford, UK. 294 p.

Rubio, J. S., F. Garcia-Sánchez, F. Rubio, and V. Martinez. 2009. Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K^+ and Ca^{2+} fertilization. Sci. Hort. 119 (2): 79-87.

Rubio, J. S., F. Garcia–Sánchez, F. Rubio, A. L. Garcia, and V. Martinez. 2010. The importance of K^+ in ameliorating the negative effects of salt stress on the growth of pepper plants. Europ. J. Hort. Sci. 75 (1): 33-41.

Rudich, J., N. Kedar, and A. H. Halevy. 1970b. Changed sex expression and possibilities for F_1-hybrid seed production in some cucurbits by application of ethrel and alar (B-955). Euphytica 19: 47-53.

Rudich, J., A. H. Halevy, and N. Kedar. 1972a. Interaction of gibberellin and SADH on growth and sex expression of muskmelon. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97: 369-372.

Rudich, J., A. H. Halevy, and N. Kedar. 1972c. The level of phytohormones in monoecious and gynoecious cucumbers as affected by photoperiod and ethophon. Plant Physiol. 50: 585-590.

Rudich, J., L. R. Baker, J. W. Scott, and H. M. Sell. 1976. Phenotypic stability and ethylene evolution in androecious cucumber. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 101: 48-51.

Ruiz-Lozano, J. M. and R. Azcón. 1996a Mycorrhizal colonization and drought stress as factors affecting nitrate reductase activity in lettuce plants. Agriculture, Ecosystems, and Environment 60 (2/3): 175-181.

Ruiz-Lozano, J. M., R. Azcón, and M. Gómez. 1996b. Alleviation of salt stress by arbuscular-mycorrhizal *Glomus* species in *Lactuca sativa* plants. Physiologia Plantarum 98 (4): 767-772.

Rusch, H. and J. Laurence. 1993. Interactive effects of ozone and powdery mildew on pea seedlings. Phytopathology 83: 1258-1263.

Russo, V. M. 2006. Biological amendament, fertilizer rate, and irrigation frequency for organic bell pepper transplant production. HortScience 41 (6): 1402-1407.

Russo, V. M. and W. W. Fish. 2012. Efficacy of microbial amendments on vegetables in greenhouse and field trials. HortScience 47(3): 349-355.

Ryder, E. J. 1999. Lettuce, endive and chicory. CABI Pub., UK. 208 p.

Ryder, E. J. and W. Waycott. 1998. Crisphead lettuce resistant to tipburn: cultivar Tiber and eight breeding lines. HortScience 33 (5): 903-904.

Ryder, E. J., N. F. Vos, and M. A. Bari. 1983. The globe artichoke (*Cynara scolymus* L.). HortScience 18: 646-653.

Saez Alonso, E., V. Gomez Garcia and M. der Mar Abad Martin. 1983. Growth regulator treatment in tomato in relation to application temperature. (In Spanish). Boletin Informativo, Estacion de Investigacion sobre Cultivos Horticolas Intensivos No. 6: 31-61.

Saile-Mark, M. and M. Tevini. 1997. Effects of solar UV-B radiation on growth, flowering and yield of central and southern European bush bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). Plant Ecol. 128 (1/2): 115-125.

Sairam, R. K. and A. Tyagi. 2004. Physiology and molecular biology of salinity stress in plants. Current Sci. 86 (3): 407-421.

Saito, S. et al. 2007. Correlation between development of female flower buds and expression of the CS-ACS2 gene in cucumber plants. J. Exp. Bot. 58 (11): 2897-2907.

Sakaki, T., K. Tanaka, and M. Yamada. 1994. General metabolic changes in leaf lipids in response to ozone. Plant and Cell Physiology 35 (1): 53-62.

Saltveit, M. E. 1994. Exposure to alcohol vapours reduces chilling-induced injury of excised cucumber cotyledons, but not of seedling or excised hypocotyls segements. J. Exp. Bot. 45 (275): 813-821.

Samac, D. A. and M. Tesfaye. 2003. Plant improvement for tolerance to aluminum in acid soils – a review. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 75: 189-207.

Sanchez, M. T., G. González-Aguilar, and M. T. Lafuente. 1995. Effect of temperature and CO_2 conditioning on chilling injury and polyamine content of cucumber cotyledons, pp. 269-272. In: A. Ait-Oubahou and M. El-Otmani (eds.). Postharvest, physiology, pathology and technologies for horticultural commodities: recent advances. Institut Agronomique et Veterinaire Hassan II, Agadir, Morocco.

Sánchez, A. S., M. Juárez, J. Sánchez-Andreu, J. Jordá, and D. Bermúdez, 2005. Use of humic substances and amino acids to enhance ion availability for tomato plants from applications of the chelate FeEDDHA. J. Plant Nutrition 28 (11): 1877-1886.

Sánchez-Rodriguez, M., Carmen del Campillo, and J. Torrent. 2014. The severity of iron chlorosis in sensitive plants related to soil phosphorus levels. J. Sci. Food Agr. 94 (13): 2766-2773.

Sanden, P. A. C. M. van de and J. J. Uittien. 1995. Root environment water potential and tomato fruit growth. Acta Hort. No. 401: 531-536.

Sangakkara, U.R. 1993. Relationship between soil moisture, growth, yield and nitrogen fixation in selected grain legumes. Acta Agr. Hungarica 42 (1-2): 51-57. c.a. Field Crop Abstr. 48: 358; 1995.

Sangakkara, U.R. 1994. Growth, yield and nodule activity of *Phaseouls vulgaris* L. as affected by soil moisture. J. Agron. Crop Sci. 172 (1): 62-68.

Sangakkara, U.R. and B. Marambe. 1999. Influence of method of application of effective mircroorganism on growth and yield of selected crops, pp. 73-78. In: Y. D. A. Senanayake and U. R. Sangakkara (eds.). Fifth International Conference on Kyusei Nature Farming. Faculty of Agriculture, University of Peradeniya, Peradeniya, Sri Lanka. Cited from Hort. Abstr. 70: Abstr. 6866; 2000.

Sangakkara, U. R., U. A. Hartwing, and J. Nosberger. 1996. Response of root branching and shoot water potentials of french beans (*Phaselous vulgaris* L.) to soil moisture and fertilizer potassium. J. Agron. Crop Sci. 177 (3): 165-173.

Sanogo, S. 2004. Response of chile pepper to *Phytophthora capsici* in relation to soil salinity. Plant Dis. 88: 205-209.

Sanata-Cruz, A. et al. 2002. The rootstock effect on the tomato salinity response depends on the shoot genotype. Plant Sci. 162: 825-831.

Sasaki, H., T. Ayano, and A. Yamasaki. 2005. Reduction of high temperature inhibition in tomato fruit set by plant growth regulators JARQ 39 (2): 135-138.

Sassi-Aydi, S., S. Aydi, and C. Abdelly. 2014. Inorganic nitrogen nutrition enhances osmotic stress tolerance in *Phaseolus vulgaris*. HortScience 49 (5): 550-555.

Sato, S. and M. M. Peet. 2005. Effects of moderately elevated temperature stress on the timing of pollen release and its germination in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). J. Hort. Sci. Biotechnol. 80 (1): 23-28.

Satti, S. M. E. and M. Lopez. 1994. Effect of increasing potassium levels for alleviating sodium chloride stress on the growth and yield of tomato. Communications in Soil Science and Plant Analysis 25 (15-16): 2807-2823.

Satti, S. M. E., A. A. Ibrahim, and S. M. Al-Kindi. 1994. Enhancement of salinity tolerance in tomato: Communications in Soil Science and Plant Analysis 25 (15-16): 2825-2840.

Satti, S. M. E., M. Lopez, and F. A. Al-Said. 1994. Salinity changes in vegetative and reproductive growth in tomato. Communications in Soil Science and Plant Analysis 25 (5-6): 501-510.

Savvas, D., G. Colla, Y. Rouphael, and D. Schwarz. 2010. Amelioration of heavy metal and nutrient stress in fruit vegetables by grafting. Sci. Hort. 127: 156-161.

Savvas, D., G. Ntatsi, and P. Barouchas. 2013. Impact of grafting and rootstock genotype on cation uptake by cucumber (*Cucumis sativus* L.) exposed to Cd or Ni stress. Sci. Hort. 149: 86-96.

Schader, W. L. 1994. Growth regulator gives earlier harvest in artichoke. California Agriculture 48 (3): 29-32.

Scholberg, J. M. S. and S. J. Locasico. 1999. Growth response of snap bean and tomato as affected by salinity and irrigation method. HortScience 34 (2): 259-264.

Schwarz, D., Y. Rouphael, G. Colla, and J. H. Venema. 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: thermal stress, water stress and organic pollutants. Sci. Hort. 127: 162-171.

Schwarz, D. et al. 2013. Rootstocks can enhance tomato growth and quality characteristics at low potassium supply. Sci. Hort. 149: 70-79.

Seki, M., T. Umezawa, K. Urano, and K. Shinozaki. 2007. Regulatory metabolic networks in drought stress responses. Current opinion in Plant Biology 10 (3): 296-302.

Semida, W. M. and M. M. Rady. 2014. Pre-soaking in 24-epibrassinolide or salicylic acid improves seed germination, seedling growth, and anti-oxidant capacity in *Phaseolus vulgaris* L. grown under NaCl stress. J. Hort. Sci. Biotechnol. 89 (3): 338-344.

Semiz, G. D., D. L. Suarez, A. Unlukara, and E. Yurtseven. 2014. Interactive effects of salinity and N on pepper (*Capsicum annuum* L.) yield, water use efficiency and root zone and drainage salinity J. Plant Nutr. 37 (4): 595-610.

Seppanen, M., M. Turakainen, and H. Hartikainen. 2003. Selenium effects on oxidative stress in potato. Plant Sci. 165: 311-319.

Shabala, S., T. A. Cuin, and J. K. Schjorring. 2008. Potassium transport and plant salt tolerance. Physiol. Plant. 133 (4): 651-663.

Shahbaz., M., Z. Mushtaq, F. Andaz, and A. Masood. 2013. Does proline application ameliorate adverse effects of salt stress on growth, ions and photosynthetic ability of egyplant (*Solanum melongena* L.)?. Sci Hort. 164: 507-511.

Shainberg, O., B. Rubin, H. D. Rabinowitch, Y. Libal, and E. Tel-Or. 2000. Acclimation of beans to oxidative stress by treatment with sublethal iron levels. J. Plant Physiol. 157 (1): 93-99.

Shannon, M. C. 1985. Principles and strategies in breeding for higher salt tolerance. Plant and Soil 89: 227-241.

Shannon, M. C. 1997. Adaptation of plants to salinity. Adv. Agron. 60: 75-120.

Shannon, M. C. 1997. Genetics of salt tolerance in higher plants, pp. 265-289. In: P. K. Jaiwal, R. P. Singh, and A. Gulati (eds). Strategies for improving salt tolerance in higher plants. Science Pub., Inc., Enfield, New Hampshire, USA.

Shannon, M. C. and C. M. Grieve. 2000. Options for using low-quality water for vegetable crops. HortScience 35 (6): 1058-1062.

Shen, Z. Y. and P. H. Li. 1983. Induction of frost hardiness in tomato leaves by short-term cold acclimation. HortScience 18: 730-732.

Shi, K. et al. 2008. Protective role of putrescine against salt stress is partially related to improvement of water relation and nutritional imbalance in cucumber. J. Plant Nutr. 31 (10): 1820-1831.

Shinohara, T. and D. I. Leskovar. 2014. Effects of ABA, antitranspirants, heat and drought stress on plant growth physiology and water status of artichoke transplants. Sci. Hort. 165: 225-234.

Shinohara, Y., K. Akiba, T. Maruo, and T. Ito. 1995. Effect of water stress on the fruit yield, quality and physiological condition of tomato plants using gravel culture. Acta Hort. No. 396: 2011-218.

Shock, C. C., E. B. G. Feibert, and L. D. Saunders. 2007. Short-duration water stress decreases onion single centers without causing translucent scale. HortScience 42: 1450-1455.

Si, Y. and R. D. Heins. 1996. Influence of day and night temperatures on sweet pepper seedling development. J. Hort. Sci. 121 (4): 699-704.

Sieg, F., W. Schroder, J. M. Schmitt, and D. K. Hincha. 1996. Purification and characterization of a cryoprotective protein (cryoprotection) from the leaves of cold-acclimated cabbage. Plant Physiol. 111 (1): 215-221.

Silva, A. de, A. Patterson, and J. Mitchell. 1996. Endomycorrhizae and growth of 'Sweetheart' strawberry seedlings. HortScience 31 (6): 951-954.

Simini, M., J. E. Simon, R. A. Reinert, and G. Eason. 1989. Identification of ozone-induced injury of field-grown muskmelons. HortScience 24: 909-912.

Simon, L., T. J. Smalley, J. B. Jones, Jr. and F. T. Lasseigne. 1994a. Aluminium toxicity in tomato. Part 1. Growth and mineral nutrition. J. Plant Nutr. 17 (2-3): 293-306,

Simon, L., M. Kieger, S. S. Sung, and T. J. Smalley. 1994b. Aluminium toxicity in tomato. Part 2. Leaf gas exchange, chlorophyll content, and invertase activity. J. Plant Nutr. 17 (2-3): 307-317.

Simonne, E. and G. Hochmuth. 2003. Frost and freeze protection for vegetable crops gown in Florida in the in the BMP era. University of Florida, IFAS Extension. 5 p. The Internet.

Singer, S. M., A. F. Abou-Hadid, and P. H. Li. 1993a. Improvements in chilling tolerance of tomato seedlings by GLK-8903. Acta Hort. No. 323: 363-370.

Singer, S. M., A. F. Abou-Hadid, and P. H. Li. 1993b. Reducing chilling injury with mefluidide in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill. cv. Sunny) seedlings. Acta. Hort. No. 323: 371-378.

Singh, B. D. 1993. Plant breeding: principles and methods. Kalyani Publishers, Ludhiana, India. 896 p.

Singh, S. P. 1995. Response of tomatoes to growth substances – a review. Adv. Hort. Forestry 4: 73-84.

Singh, K. N. and R. Catrath. 2001. Salinity tolerance, pp 10-110. In: M.P. Reynolds, J. I. Ortiz-Monasterio and A. McNab (eds.). Application of physiology in wheat breeding. CIMMYT, Mexico, D. F.

Singh, S. and S. M. Prassad. 2014. Growth, photosynthesis and oxidative responses of *Solanum melongena* L. seedlings to cadmium stress: mechanism of toxicity amelioration by kinetin. Sci. Hort. 176: 1-10.

Singh, B. P., K. A. Tucker, J. D. Sutton, and H. L. Bhardwaj. 1991. Flooding reduces gas exchange and growth in snap bean. HortScience 26: 372-373.

Singletary, C. C. and G. F. Warren. 1951. Influence of time and methods of application of hormones on fruit set. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 57: 874-876.

Smeets, L. and F. Garretsen. 1986. Growth analysis of tomato genotypes grown under low night temperatures and low light intensity. Euphytica 35: 701-715.

Smith, O. 1954. Inhibition of sprouting by plant regulators. In: H. B. Tukey (Ed.) "Plant Regulators in Agriculture"; pp. 149-160. John Wiley, N. Y.

Smith, O. 1968. Potatoes: production, storing, processing. The Avi Pub. Co., Inc., Westport, Conn. 642 p.

Smith, O. E., W. W. L. Yen, and J. M. Lyons. 1968. The effects of kinetin in overcoming high-temperature dormancy of lettuce seed. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 93: 444-453.

Snapp, S. S. and C. Shennan. 1994. Salinity effects on root growth and senescence in tomato and the consequences for severity of Phytophtora root rot infection. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119 (3): 458-463.

Soil Improvement Committee, California Fertilizer Association. 1980. Western Fertilizer handbook. Interstate Printers & Publishers. Inc., Danville, Illinois. 269 p.

Soliman, M. S. and M. Doss. 1992. Salinity and mineral nutrition effects on growth and accumulation of organic ions in two cultivated tomato varieties. J. Plant Nutrition 15 (12): 2789-2799. c.a. Plant Breeding Abstr. 1993, 63: Abstr. 8924.

Snyder, M. J., N. C. Welch, and V. E. Rubatzky. 1971. Influence of gibberellin on time of bud development in globe artichoke. HortScience 6: 484-485.

Southwick, S. M. and B. W. Poovaiah. 1987. Auxin movement in strawberry fruit corresponds to its growth-promoting activity. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 112 (1): 139-142.

Speer, M. and W. M. Kaiser. 1994. Replacement of nitrate by ammonium as the nitrogen source increases the salt sensitivity of pea plants, II. Inter and intracellular solute compartmentation in leaflets. Plant, Cell and Environment 17 (11): 1223-1231.

Speer, M., A. Brune, and W. M. Kaiser. 1994. Replacement of nitrate by ammonium as the nitrogen source increases the salt sensitivity of peas plants. I. Ion concentrations in root and leaves. Plant, Cell and Environment 17 (11): 1215-1221.

Sreenivasa, M. N., P. U. Krishnaraj, G. A. Gangadhara, and H. M. Manjunathalah. 1993. Response of chilli (*Capsicum annuum* L.) to the inoculation of an efficient vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. Sci. Hort. 53 (1-2): 45-52.

Srivastava, L. M. 2002. Plant growth and development: hormones and environment. Academic Press, San Diego, California. 772 p.

Srivastava, L. M. 2008. Plant growth and development. Academic Pr., San Diego, California. 772 p.

Stalknecht, G. F. 1983. Application of plant growth regulators to potatoes: production and research, pp. 161-176. In: L. G. Nickell (ed.). Plant growth regulating chemicals. Vol. II. CRC Pr., Inc., Boca Raton, Florida.

Staples, R. C. and H. Toenniessen (Eds). 1984. Salinity tolerance in plants: Strategies for crop improvement. Wiley-Interscience, N. Y. 443 p.

Stark, J. C., J. J. Pavek, and I. R. McCann. 1991. Using canopy temperature measurements to evaluate drought tolerance of potato genotypes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116: 412-415.

Stark, Z., A. Siwiec, and D. Chotuji. 1994. Distribution of calcium in tomato plants in response to heat stress and plant growth regulators. Plant and Soil 167: 143-148.

Stass, A., Z. Kotur, and W. J. Horst. 2007. Effect of boron on the expression of aluminum toxicity in *Phaseolus valgaris*. Phys. Plant. 131 (2): 283-290.

Stevens, M. A. 1981. Resistance to heat stress in plants, pp 457-487. In: J. T. Manassah and E. J. Briskey (eds.). Advances in food-producing systems for arid and semiarid lands. Academic Press, N. Y.

Steward, F. C. 1966. About plants: topics in plant biology. Addison-Wesley, Reading, Mass. 174 p.

Stribley, D. P. 1990. Mycorrhizal associations and their signilicance, pp. 85-101. In: H. D. Rabinowitch and J. L. Brewster Eds.). Onions and allied crops. Vol II. Agronomy, biotic interactions, pathology, and crop protection. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.

Sugiyama, K., D. Kami, and T. Muro. 2014. Induction of parthenocarpic fruit set in watermelon by pollination with bottle gourd (*Lagenaria siceraria* (Molina) Standl.) Pollen. Sci. Hort. 171: 1-5.

Sukarno, N., S. E. Smith, and E. S. Scott. 1993. The effect of fungicides on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth. New Phytologist 125 (1): 139-147.

Sulikeri, G. S. and K. R. Bhandary. 1973. Studies on sex expression in muskmelon (*Cucumis melo* L.) as influenced by Ethrel (2-chloroethyl phosphonic acid) treatment. Current Res. 2 (7): 50-51.

Sung, D. Y., F. Kaplan, K. J. Lee, and C. L. Guy. 2003. Acquired tolerance to temperature extremes. Trends in Plant Science 8 (4): 179-187.

Swiecki, T. J. and J. D. MacDonald. 1991. Soil salinity enhances phytophthora root rot of tomato but hinders asexual reproduction by *Phytophthora parasitica*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 116: 471-477.

Szmidt, R. A. K. and N. B. Graham. 1991. The effect of polyethylene oxide hydrogel on crop growth under saline conditions. Acta Hort. No. 287:211-218.

Tachibana, S., Y. C. Du, Y. H. Wang, and F. Kitamura. 1997. Implication of endogenous cytokinins in the gowth inhibition of cucumber plant by supraoptimal root-zone temperature. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 66 (3/4): 549-555. c.a. Hort. Abstr. 68 (6): 4992; 1998.

Tailor, A. J. and B. H. Joshi. 2014. Harnessing plant growth promoting rhizobacteria beyond nature: a review. J. Plant Nutr. 37 (9): 1534-1571.

Takahashi, H., K. Koshio, and Y. Ota. 1993. Effects of ABA application to the culture solution on the growth, water relations and temperature stress in tomato plants. (In Japanese with English summary). J. Jap. Soc. Hort. Sci. 62 (2): 389-397. c.a. Hort. Abstr. 65: 3109; 1995.

Talanova, V. V. and A. F. Titov. 1994. Endogenous abscisic acid content in cucumber leaves and under the influence of unfavorable temperatures and salinity. J. Exp. Bot. 45 (276): 1031-1033.

Tarakanov, G. I. et al. 1978. Methods of increasing fruit set in tomato under high temperature conditions. (In Russian). Leningard, USSR, pp. 123-129. Referativnyi Zhurnal (1979) 6. 55. 330.

Tawaraya, K., S. Watanabe, E. Yoshida, and T. Wagatsuma. 1996. Effect of onion (*Allium cepa*) root exudates on the hyphal growth of *Gigaspora margarita*. Mycorrhiza 6 (1): 57-59.

Tawaraya, K., K. Tokairin, and T. Wagatsuma. 2001. Dependence of *Allium fistulosum* cultivars on the arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus fasciculatum*. Appl. Soil Ecol. 17 (2): 119-124.

Tayel, M. A., M. A. Moursi, and K. Habbasha. 1965. Cultural treatments affecting sex expression of cucumber. Ann. Agr. Sci., Cairo 10: 279-288. c.a. Hort. Abstr. Vol. 39; 1969.

Tazuke, A. 1997. Effects of adding NaCl and reducing aeration to nutrient culture solution on the growth of cucumber fruit. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 66 (3/4): 563-568. c.a. Hort. Abstr. 68 (6): 4987; 1998.

Teakele, A. and C. R. McDavid. 1994. Effects of short-term waterlogging on cultivars of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp. Trop. Agr. 71 (4): 275-280.

Temirkaynak, M., S. Kucuk, and R. Coskun. 2009. Effect of gibberellic acid application times on earliness and production of A-106 artichoke cultivar in Antalya ecologic conditions. 1st International symposium on Sustainable Development, June. 9-10 2009, Sarajevo-Bosnia and Herzegovina, pp. 74-77. The Internet.

Thakur, P. S. 1991. Effect of water stress on proline and relative water content in tomato cultivars. Indian J. Hort. 48 (1): 36-41.

Thomas, T. H., A. Barnes and C. C. Hole. 1982. Modification of plant part relationships in vegetable crops. In: J. S. McLaren (Ed.). "Chemical Manipulation of Crop Growth and Development"; pp. 297-311. Butterworth Scientific, London.

Thompson, H. C. and W. C. Kelly. 1957. Vegetable crops. McGraw-Hill Book Co., N. Y. 611p.

Thorne, D. W. and H. B. Peterson. 1954. (2nd ed.) Irrigated soils: their fertility and management. TATA McGraw Pub. Co., Ltd, Bombay. 392 p.

Thoronton, M. K., N. J. Malik, and R. B. Dwelle. 1996. Relationship between leaf gas exchange characteristics and productivity of potato clones grown at different temperatures. Amer. Potato J. 73 (2): 63-77.

Tian, J., L. P. Wang, Y. Y. Yang S. Sun, and S. R. Guo. 2012. Exogenous spermidine alleviates the oxidative damage in cucumber seedlings subjected to high temperatures. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 137 (1): 11-19.

Tibbitts, T. W. and J. M. Kobriger. 1983. Mode of action of air pollutants in injuring horticultural plants. HortScience 18: 675-680.

Tobar, R. M., R. Azcón, and J. M. Barea. 1994. The improvement of plant N acquisition from an ammonium-treated, drought-stressed soil by the fungal symbiont in arbuscular mycorrhizae. Mycorrhiza 4 (3): 105-108 (c. a. Hort. Abst: 1994, 64: 6999).

Tohma, O. and A. Esitken. 2011. Response of salt stressed strawberry plants to foliar salicylic acid pre-treatments. J. Plant Nutr. 34 (4): 590-599.

Tonneijck, A. E. G. 1994. Effects of various ozone exposures on the susceptibility of bean leaves (*Phseolus vulgaris* L.) to *Botrytis cinerea*. Environmental Pollution 85 (1): 59-65. c. a. Rev. Plant Pathol. 1995, 74: 2068.

Tonneijk, A. E. G. and G. Leone. 1993. Changes in susceptibility of bean leaves (*Phaseolus vulgaris*) to *Sclerotinia sclerotiorum* and *Botrytis cinerea* by preinoculative ozone exposures. Netherlands Journal of Plant Pathology 99 (5-6): 313-322. c.a. Rev. Plant Pathol. 1994, 73: 5663.

Torre, A. la, A. Leandri, G. Imbroglini, and M. Galli. 1992. Thermoenbulization of growth regulators on eating tomatoes in a cool greenhouse. Informatore Agrario 48 (16): 81-84. c. a. Hort. Abstr. 63: 9285; 1993.

Tourte, L., R. L., Bugg, and C. Shennan. 2000. Foliar-applied seaweed and fish powder do not improve yield and fruit quality of organically grown processing tomatoes. Biological Agriculture & Horticulture 18 (1): 15-27.

Treder, W. and G. Cleslinski. 2005 effect of silicon application on cadmium uptake and distribution in strawberry plants grown on contaminated soils. J. Plant Nutr. 28 (6): 917-929.

Trimble, M. R. and N. R. Knowles. 1995a. Influence of phosphorus nutrition and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on growth and yield of greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* L.) Canad. J. Plant Sci. 75 (1): 251-259.

Trimble, M. R. and N. R. Knowles. 1995b. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth, carbohydrate partioning and mineral nutrition of greenhouse cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants during establishment. Canad. J. Plant Sci. 75 (1): 239-250.

Trouwborst, G., S. W. Hogewoning, J. Harbinson, and W. van Ieperen. 2011. The influence of light intensity and leaf age on the photosynthetic capacity of leaves within a tomato canopy. J. Hort. Sci. Biotechnol. 86 (4): 403-407.

Tseng, M. J., C. W. Liu, and J. C. Yiu. 2007. Enhanced tolerance to sulfur dioxide and salt stress of transgenic chinese cabbage plants expressing both superoxide dismutase and catalase in chloroplasts. Plant Physiol. Biochem. 45: 822-833.

Tu, J. C. and B. R. Buttery. 1988. Soil compaction reduces nodulation, nodule efficiency, and growth of soybean and white bean. HortScience 23: 722-724.

Tu, J. C. and J. Zheng. 1997. Effect of diluent and carrier on seed germination, plant growth and biological seed treatment of navy bean. Mededelingen-Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent 62 (3b): 993-999. c. a. Rev. Plant Pathol. 77 (8): 6536; 1998.

Tuna, A. L., C. Kaya, and M. Ashraf. 2010. Potassium sulfate improves water deficit tolerance in melon plants grown under glasshouse conditions. J. Plant Nutr. 33 (9): 1276-1286.

Turner, N. C. and P. J. Kramer (Eds). 1980 Adaptation of plants to water and high temperature stress. John Wiley & Sons, N. Y. 482 p.

Ueugi, T., M. Koshioka, T. Nishijima, and H. Yamazaki. 1995. Stimulation of asparagus spear sprouting with benzyladenine. Acta Hort. No. 394: 241-249.

Umaharan, P., R. P. Ariyanayagam, and S. O. Haque. 1997. Effect of short-term water logging applied at various growth phases on growth, development and yield in *Vigna unguiculata*. J. Agr. Sci. 128 (2): 189-198.

United States Department of Agriculture. 1964. Nutritive value of foods. Home and Garden Bull. 72. 36 p.

University of California. 1986. Integrated pest management for potatoes in the Western United States. Div. Agric. Nat. Res. Pub. 3316. 146 p.

Uno, Y., M. Kanechi, N. Inagaki, M. Sugimoto, and S. Maekawa. 1996. The evaluation of salt tolerance during germination and vegetative growth of asparagus, table beet and sea aster. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 65 (3): 579-585. c.a. Hort. Abstr. 67 (4):2979; 1997.

USDA, United States Department of Agriculture. 2007. Agricultural Research Service. http://www.ussl.ars.usda.gov/pls/cliche.

Uygur, V. and H. Yetisir. 2009. Effects of rootstocks on some growth parameters, phosphorus and nitrogen uptake of watermelon under salt stress. J. Plant Nutr. 32 (4): 629-643.

Valentine, A. J., A. B. Osborne, and D. T. Mitchell. 2001. Interactions between phosphorus supply and total nutrient availability on mycorrhizal colonization, growth and photosynthesis of cucumber. Sci. Hort. 88 (3): 177-189.

Van der Zaag, D. E. 1991. The potato crop in Saudi Arabia. Saudia Potato Development Programme, Ministry of Agriculture and Water, Riyadh. 205 p.

Van Genuchten, M. T. and S. K. Gupta. 1993. A reassessment of the crop tolerance response function. J. Indian Soc. Soil Sci. 41 (4): 730-737.

Van Ieperen, W. 1996a. Effects of different day and night salinity levels on vegetative growth, yield, and quality of tomato. J. Hort. Sci. 71 (1): 99-111.

Van Ieperen, W. 1996b. Dynamic effects of changes in electric conductivity on transpiration and growth of greenhouse-grown tomato plants. J. Hort. Sci. 71 (3): 481-496.

Vavrina, C. S. 1999. Plant growth promoting rhizobacteria via a transplant plug delivery system in the production of drip irrigated pepper. University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences, SWFREC Station Report - VEG 99.6. 9 p. The Internet.

Vavrina, C. S., P. D. Robers, N. Kokalis-Burelle, and E. O. Ontermaa. 2004. Greenhouse screening of commercial products marketed as systemic resistance and plant growth promotion inducers. HortScience 39 (2): 433-437.

Veerman, A. and C. D. van Loon. 1993. Prevention of berry formation in potato plants (*Solanum tuberosum* L.) by single foliar applications of herbicides or growth regulators. Potato Res. 36 (2): 135-142.

Venema, J. H., B. E. Dijk, J. M. Bax, P. R. van Hasselt, and J. T. M. Elzenga. 2008. Grafting tomato (*Solanum lycopersicum*) onto the rootstock of a high-altitude accession of *Solanum habrochaites* improves suboptimal-temperature tolerance. Env. Exp. Bot. 63: 359-367.

Verlinden, G. et al. 2009. Application of humic substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake. J. Plant Nutrition 32 (9): 1407-1426.

Villora, G., G. Pulgar, D. A. Moreno, and L. Romero. 1997. Effect of salinity treatments on nutrient concentration in zucchini plants (*Cucurbita pepo* L. var *Moschata*). Aust. J. Exp. Agr. 37 (5): 605-608.

Vince-Prue, D. 1975. Photoperiodism in plants. McGraw-Hill Book Co., London, 444 p.

Vosátka, M. 1995. Influence of inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and mycorrhizal infection of transplanted onion. Agriculture, Ecosystem & Environment 53 (2): 151-159.

Voutsa, D., A. Grimanis, and C. Samara. 1996. Trace elements in vegetables grown in an industrial area in relation to soil and air particulate matter. Env. Polloution 94 (3): 325-335.

Wahid, A., S. Gelani, M. Ashraf, and M. R. Foolad. 2007. Heat tolerance in plants: an overview. Env. Exp. Bot. 61: 199-223.

Walker, J. C. 1969. Plant pathology. McGraw, N. Y. 819 p.

Walker, M. A. and B. D. McKersie. 1993. Role of the ascorbate-glutathione antioxidant system in chilling resistance of tomato. J. Plant Physiol. 141 (2): 234-239.

Wang, S. Y. 2000. Effect of methyl jasmonate on water stress in strawberry. Acta Hort. No. 516: 89-95.

Wang, J. Q. and H. W. Cui. 1996. Variation in free proline content of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under low temperature stress. Cucurbit Genetics Cooperative Report No. 19: 25-26.

Warman, P. R. and T. R. Munro-Warman. 1993. Do seaweed extracts improve vegetable production?, pp. 403-407. In: M. A. C. Fragoso and M. L. van Beusichem (eds.). Optimization of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Netherlands.

Waterer, D. R. and R. R. Coltman. 1988. Phosphorus concentration and application interval influence growth and mycorrhizal infection of tomato and onion transplants. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 113: 704-708.

Waterer, D. R. and R. R. Coltman. 1989. Response of mycorrhizal bell peppers to inoculation timing, phosphorus and water stress. HortScience 24: 688-690.

Weaver, R. J. 1972. Plant growth substances in agriculture. S. Chand & Co. Ltd, New Delhi. 594 p.

Weaver, M. L. and H. Timm. 1989. Screening tomato for high-temperature tolerance through pollen viability tests. HortScience 24: 493-495.

Wei, G., J. W. Kloepper, and S. Tuzun. 1996. Induced systemic resistance to cucumber diseases and increased plant growth by plant growth-promoting rhizobacteria under field conditions. Phytopathology 86: 221-224.

Wei, G. P., L. F. Yang, Y. L. Zhu, and G. Chen. 2008. Changes in oxidative damage, antioxidant enzyme activities and polyamine contents in leaves of grafted and non-grafted eggplant seedlings under stress by excess of calcium nitrate. Sci. Hort. 120 (4): 443-451.

Welbaum, G. E., D. Bian, D. R. Hill, R. L. Grayson, and M. K. Gunatilaka. 1997. Freezing tolerance, protein composition, and abscisic acid localization and content of pea epicotyl, shoot, and root tissue in response to temperature and water stress. J. Exp. Bot. 48 (308): 643-654.

Wellburn, A. R. 2002. Air pollution effects and injury, pp. 195-202. In: J. M. Waller, J. M. Lenné, and S. J. Waller (eds.). Plant pathologist's pocketbook. CAB International, Wallingford, UK.

Wen, F. Y., D. L. Sunn, P. H. Ju, Y. M. Su, and Z. X. An. 1991. The effects of NAA on calcium absorption and translocation and the prevention of tipburn in chinese cabbage (In Chinese with English summary). Acta Horticulturae Sinica 18 (2): 148-152. c. a. Hort. Abstr. 64 (6): Abstr. 4479, 1994.

Werner, H. O. 1934. The effect of a controlled nitrogen supply with different photoperiods upon the development of the potato plant. Nebr. Agric. Exp. Sta. Bull. 75.

Whipps, J. M. 1997. Developments in the biological control of soil-borne plant pathogens. Adv. Bot. Res. 26: 1-134.

White, R. E. 1987. Introduction to the principles and practice of soil science. Blackwell Scientific Publications, Oxford. 244 p.

White. R. E. 1997. Principle and practice of soil science (3rd ed.). Blackwell Science Ltd, Malden, MA, USA. 348 p.

Wiebe, H. J. and T. Muhyaddin. 1987. Inprovement of emergence by osmotic seed treatments in soil of high salinity. Acta Hort. No. 198: 91-100.

Wien, H. C. 1997. Lettuce, pp. 479-509. In: H. C. Wien (ed.). The physiology of vegetable crops. CAB International, Wallingford, UK.

Wien, H. C. 1997. The cucurbits: cucumber, melon, squash and pumpkin, pp. 345-386. In: H. C. Wien (ed.). The physiology of vegetable crops. CAB International, Wallingford, U. K.

Wien, H. C. 2006. Ethephon treatment may alleviate the suppression of female flowers of *Cucurbita pepo* under high temperatures. HortScience 41 (6): 1421-1422.

Willamson, J. D. et al. 2002. Sugar alcohols, salt stress, and fungal resistance: polyols-multifunctional plant protection. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 127 (4): 467-473.

Winsor, G. and P. Adams. 1987. Diagnosis of mineral disorders in plants. Vol. 3: Glasshouse crops. Her Majesty's Stationary Office, London. 168 p.

Wittwer, S. H. 1954. Control of flowering and fruit setting by plant regulators, pp. 62-80. In H. B. Tukey (ed.). Plant regulators in agriculture. Wiley, N. Y.

Wittwer, S. H. 1983. Rising atmospheric CO_2 and crop productivity. HortScience 18: 667-673.

Wittwer, S. H. 1983. Vegetables, pp. 213-231. In. L. G. Nickell (ed.). Plant growth regulating chemicals. Vol. II. Boca Raton, Florida.

Wittwer, S. H. and M. J. Bukovac. 1962. Exogenous plant growth substances affecting floral initiation and fruit set, pp. 65-83. In: Campbell Soup Company. Proceedings of plant science symposium. Camden, N. J.

Wood, C. K., J. R. Pratt, and A. L. Moore. 1998. Identification and characterization of cultivar-specific 22-kDa heat shock proteins from mitochondria of *Pisum sativum*. Physiol. Plant. 103 (3): 369-376.

Woolf, A. B. and I. B. Ferguson. 2000. Postharvest responses to high fruit temperatures in the field. Postharvest Biol. Technol. 21: 7-20.

Wu, X. X. et al. 2013. Nitric oxide alleviates adverse salt-induced effects by improving the photosynthetic performance and increasing the anti-oxidant capacity of eggplant (*Solanum melongena* L.). J. Hort. Sci. Biotechnol. 88 (3): 352-360.

Xia, X. J. et al. 2009. Reactive oxygen species are involved in brassinosteroid-induced stress tolerance in cucumber. Plant Physiol. 150: 801-814.

Xing, W. B. and C. B. Rojashekar. 1999. Alleviation of water stress in beans by exogenous glycine betaine. Plant Sci. (Limerick) 148 (2): 185-192.

Xu, K.Z., Y. L. Shi, G. M. Xu, Z. Zhang, and Q. H. Cui. 1993. Studies on photosynthetic temperature characteristics of cucumber leaves in protective field. Acta Hort. Sinica 20 (1): 51-55. c.a. Hort. Abstr. 5 (3): 2109; 1995.

Xu, H. L., L. Gauthier, and A. Gosselin. 1994. Photsynthetic responses of greenhouse tomato plants to high solution electrical conductivity and low soil water content. J. Hort. Sci. 69 (5): 821-832.

Xu, H. L., L. Gauthier, and A. Gosselin. 1995a. Stomatal and cuticular transpiration of greenhouse tomato plants in response to high solution electrical conductivity and low soil water content. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 120 (3): 417-422.

Xu, H. L., L. Gauthier, and A. Gosselin. 1995b. Effects of irrigation management on growth and photosynthesis of tomato plants in peat, rockwool and NFT. Sci. Hort. 63: (1/2): 11-20.

Xu, H. L., W. Ran, and M. A. U. Mridha. 2000. Effects of organic and chemical fertilizers and arbuscular mycorrhizal inoculation on growth and quality of cucumber and lettuce. J. Crop Prod. 3 (1): 313-324.

Xu, H. L., R. Wang, and M. A. U. Maridha. 2000. Effects of organic fertilizers and a microbial inoculant on leaf photosynthesis and fruit yield and quality of tomato plants. J. Crop Prod. 3 (1): 173-182.

Yadegari, M., H. A. Rahmani, G. Noormohammadi, and A. Ayneband. 2010. Plant growth promoting rhizobacteria increase growth, yield and nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris*. J. Plant Nutr. 33 (12): 1733-1743.

Yamaguchi, M. 1983. World vegetables: principles, production and nutritive values. Avi Pub. Co., Inc., Westport, Connnnecticut. 415 p.

Yamaguchi, T. and E. Blumwald. 2005. Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. Trends in Plant Science 10 (12): 615-620.

Yamaguchi, M., H. Timm, and A. R. Spurr, 1964. Effects of soil temperature on growth and nutrition of potato plants and tuberization, composition, and peridem structure of tubers. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 84: 412-423.

Yamanouchi, M., S. Tanaka, and H. Fujiyama. 1997. The cultivarietal differences in salt-tolerance and the effect of NaCl on the absorption and translocation of K, Ca and Mg ions in *Phaseolus vulgaris* L. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 65 (4): 737-745.

Yang, A. and Z. Y. Shen. 1992. The effect of low temperature acclimation on cold tolerance in cucumber seedlings. (In Chinese with English summary). Acta Hort. Sinica 19 (1): 61-66. c.a. Hort. Abstr. 64: 7036; 1994.

Yang, I. W., J. W. Kloepper, and C. M. Ryu. 2008. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. Trends in Plant Science 14 (1): 1-4.

Yang, J. H., Y. Gao. Y. M. Li, X. H. Qi, and M. F. Zhang. 2008. Salicylic acid-induced enhancement of cold tolerance through activation of antioxidative capacity in watermelon. Sci. Hort. 118 (3): 200-205.

Yedidia, I., A. K. Srivastva, Y. Kapulnik, and I. Chet. 2001. Effect of *Trichoderma harzianum* on microelement concentrations and increased growth of cucumber plants. Plant and Soil 235 (2): 235-242.

Yeo, A. R. and T. J. Flowers. 1989. Selection for physiological characters – examples from breeding for salt tolerance, pp. 217-234. In: H. G. Jones, T. J. Flowers, and M. B. Jones (eds.). Plants under stress. Cambridge University Press, Cambridge.

Yetisir, H. and V. Uygur. 2010. Response of grafted watermelon onto different gourd species to salinity stress, J. Plant Nutr. 33 (3): 315-327.

Yildrim, E., M. F. Donmez, and M. Turan. 2008. Use of bioinoculants in ameliorative effects on radish plants under salinity stress. J. Plant Nutr. 31 (12): 2059-2074.

Yin, T. and J. A. Quinn. 1995. Tests of a mechanistic model of one hormone regulating both sexes in *Cucumis sativus* (Cucurbitacea). Amer. J. Bot. 82 (12): 1537-1546.

Yoshida, S., M. Kitano, and H. Eguchi. 1996. Water uptake in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) under control of dissolved O_2 concentration in hydroponics. (In Japanese with English summary). Env. Control Biol. 34 (1): 53-58.

Yoshiba, Y. et al. 1997. Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. Plant and Cell Physiology 38 (10): 1095-1102.

Yu, J. Q., Y. H. Zhou, S. F. Ye, and L. F. Huang. 2002. 24-Epibrassinolide and abscisic acid protect cucumber seedlings from chilling injury. J. Hort. Sci. Biotechnol. 77 (4): 470-473.

Zhair, Z. A., M. Arshad, and W. T. Frankenberger, Jr. 2004. Pant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. Adv. Agron. 81: 97-168.

Zaiter, H. Z. and Saade. 1993. Interactive effects of salinity and phosphorus nutrition on tepary and common bean cultivars. Communications in Soil Science and Plant Analysis 24 (1-2): 109-123.

Zbieć, I., S. Karczmarczyk, and C. Podsiadlo. 2007. Influence of irrigation and methanol on physiological processes and yield of small bean (*Vicia faba minor* L.) and sugar beet (*Beta vulgaris* var. *saccharifera*). Acta Hort. 729: 397-401.

Zeng, G. W. and A. A. Khan. 1984. Alleviation of high temperature stress by preplant permeation of phthalimide and other growth regulators into lettuce seeds via acetone. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109: 782-785.

Zhang, H. and F. Hashinaga. 1997. Effect of high electric fields on the germination and early growth of some vegetable seeds (In Japanese with English summary). J. Jap. Soc. Hort. Sci. 66 (2): 347-352. c. a. Hort. Abstr. 67: 306; 1997.

Zhang, C. and Z. Huang. 2013. Effects of endogenous abscisic acid, jasmonic acid, polyamines, and polyamine oxidase activity in tomato seedlings under drought stress. Sci. Hort. 159: 172-177.

Zhang, C., P. H. Li, and C. C. Shin. 1994. GLK-8903 reduces membrane phospholipids peroxidation and alleviated chilling injury in *Phaseolus vulgaris* L. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119 (2): 307-312.

Zhang, J. H. and X. P. Zhang. 1994. Can early wilting of old leaves account for much of the ABA accumulation in flooded pea plants?. J. Exp. Bot. 45 (278): 1335-1342.

Zhang, C. L., P. H. Li, and C. C. Shin. 1994. GLK-8903 reduces membrane phospholipids peroxidation and alleviates chilling injury in *Phaseolus vulgaris* L. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119 (2): 307-312.

Zhang, W., B. Jiang, W. Li, H. Song, Y. Yu, and J. Chen. 2009. Polyamines enhance chilling tolerance of cucumber (*Cucumis sativus* L.) through modulating antioxidative system. Sci. Hort. 122 (2): 200-208.

Zhang, Y., H. R. Tang, Y. Luo, and Y. X. Hou. 2009. Responses of antioxidant enzymes and compounds in strawberry (*Fragaria* × *ananassa* 'Toyonaka' to cold stress. New Zealand J. Crop Hort. Sci. 37: 383-390.

Zhang, J. et al. 2000. Genetic engineering for abiotic stress resistance in crop plants. In Vitro Cell Biol. - Plant 36: 108-114.

Zhang, J., D M. Li, W. J. Sun, X. J. Wang, and J. G. Bai. 2012. Exogenous p–hydroxybenzoic acid regulates antioxidant enzyme activity and mitigates heat stress of cucumber leaves. Sci. Hort. 148: 235-245.

Zhang, Y., J. Jiang, and Y. L. Yang. 2013. Acetyl salicylic acid induces stress tolerance in tomato plants grown at a low night-time temperature. J. Hort. Sci. Biotechnol. 88 (4): 490-496.

Zhang, X., L. Shen, F. Li, D. Meng, and J. Sheng. 2013. Arginase induction by heat treatment contributes to amelioration of chilling injury and activation of antioxidant enzymes in tomato fruit. Postharvest Biol. Technol. 79: 1-8.

Zhang, Y. et al. 2013. Beneficial role of exogenous spermidine on nitrogen metabolism in tomato seedlings exposed to saline-alkaline stress. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 138 (1): 38-49.

Zhang, L. et al. 2013. Rubisco gene expression and photosynthetic characteristics of cucumber seedlings in response to water deficit. Sci. Hort. 161: 81-87.

Zhao, S. J. and S. L. Li. 1994. A physiological study of the effect of VA mycorrhizas on promotion of sweet pepper growth. (In Chinese with English summary). Acta Agr. Boreali-Sinica 9 (1): 81-86 c.a. Hort. Abstr. 66: 1413; 1996.

Zheng, S. J. 2010. Crop production on acidic soils: overcoming aluminium toxicity and phosphorus deficiency. Ann. Bot. 106: 183-184.

Zhu, J. C., H. Dong, and J. K. Zhu. 2007. Interplay between cold-responsive gene regulation, metabolism and RNA processing during plant cold acclimation. Current Opinion in Plant Biol. 10 (3): 209-295.

Zhu, J., Z. Bie, Y. Huang, and X. Han. 2008. Effect of grafting on the growth and ion concentrations of cucumber seedlings under NaCl stress. Soil Sci. Plant Nutr. 54 (6): 895-902.

Zhu, X. G., S. P. Long, and D. R. Ort. 2008. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass?. Current Opinion in Biotechnology 19 (2): 153-159.

Zushi, K. and N. Matsuzoe. 2006. Free amino acid contents of tomato fruit grown under water and salinity stresses. Acta Hort. No. 724

Zushi, K. and N. Matsuzoe. 2007. Salt stress-enhanced gamma-aminobutyric acid (GABA) in tomato fruit. Acta Hort. No. 761: 431-435.

Zushi, K. and N. Matsuzoe. 2011. Utilization of correlation network analysis to identify differences in sensory attributes and organoleptic compositions of tomato cultivars grown under salt stress. Sci. Hort. 129: 18-26.

صَدَر للمؤلف

صدَر للمؤلف الكتب التالية:

أولاً: فى مجال أساسيات وتقنيات إنتاج وتداول الخضر

١- أساسيات إنتاج الخضر وتكنولوجيا الزراعات المكشوفة والمحمية (١٩٨٨). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٩٢٠ صحة.

٢- تكنولوجيا الزراعات المحمية (الصوبات) (١٩٩٠). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٣٥ صفحة.

٣- أساسيات إنتاج الخضر فى الأراضى الصحراوية (١٩٩٣). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٢٨٥ صفحة.

٤- إنتاج وفسيولوجيا واعتماد بذور الخضر (١٩٩٤). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٢٨٥ صفحة.

٥- أساسيات وفسيولوجيا الخضر (١٩٩٨). المكتبة الأكاديمية — ٥٩٦ صفحة.

٦- تكنولوجيا إنتاج الخضر (١٩٩٨). المكتبة الأكاديمية — ٦٢٥ صفحة.

٧- الأساليب الزراعة المتكاملة لمكافحة أمراض وآفات وحشائش الخضر (١٩٩٩). المكتبة الأكاديمية — ٥٨٦ صفحة.

٨- تكنولوجيا الزراعات المحمية (١٩٩٩). المكتبة الأكاديمية — ٥٣٥ صفحة.

٩- الممارسات الزراعية لمكافحة أمراض وآفات وحشائش الخضر: البدائل العلمية والعملية المتكاملة (٢٠١٠). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٧٨٣ صفحة.

١٠- تكنولوجيا وفسيولوجيا ما بعد حصاد الخضر الثمرية (٢٠١١). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٤٥٢ صفحة.

١١- تكنولوجيا وفسيولوجيا ما بعد حصاد الخضر غير الثمرية (٢٠١١). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٤٦٤ صفحة.

١٢- أصول الزراعة العضوية: ما لها وما عليها (٢٠١١). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٩٤ صفحة.

١٣- أصول الزراعة المحمية (٢٠١٢). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٨٣٦ صفحة.

١٤- أساسيات وتكنولوجيا إنتاج الخضر (٢٠١٥). دار الكتب العلمية والدار العربية للنشر والتوزيع، ومكتبة أوزوريس، والمكتبة الأكاديمية — ٩٦٨ صفحة.

١٥- تداول الحاصلات البستانية: تكنولوجيا وفسيولوجيا ما بعد الحصاد (٢٠١٥). دار الكتب العلمية، والدار العربية للنشر والتوزيع، ومكتبة أوزوريس ، والمكتبة الأكاديمية— ٥٤٨ صفحة.

١٦- الأهمية الغذائية والطبية للخضروات. (٢٠١٥). دار الكتب العلمية والدار العربية للنشر والتوزيع ، ومكتبة أوزوريس، والمكتبة الأكاديمية — ٣٧٨ صفحة.

١٧- تسميد محاصيل الخضر (٢٠١٦). دار الكتب العلمية، والدار العربية للنشر والتوزيع ، ومكتبة أوزوريس، والمكتبة الأكاديمية- ٦٩٣ صفحة.

ثانيًا: فى مجال إنتاج محاصيل الخضر

١- الطماطم (١٩٨٨). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٣١ صفحة.

٢- البطاطس (١٩٨٨). الدار العربية للنشر والتوزيع — ١٨٦ صفحة.

٣- البصل والثوم (١٩٨٨). الدار العربية للنشر والتوزيع — ١٩١ صفحة.

٤- القرعيات (١٩٨٩). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٢٠٧ صفحات.

٥- الخضر الثمرية (١٩٨٩). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٠١ صفحة.

٦- الخضر الثانوية (١٩٨٩). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٩١ صفحة.

٧- الخضر الجذرية والساقية والورقية والزهرية (١٩٩٠). الدار العربيـة للنـشر والتوزيـع — ٣٧٤ صفحة.

٨- إنتاج محاصيل الخضر (١٩٩١). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٧١٢ صفحة.

٩- إنتاج خضر المواسم الدافئة والحارة فى الأراضى الصحراوية (١٩٩٤). الدار العربيـة للنشر والتوزيع — ٢٨٨ صفحة.

١٠- إنتاج خضر المواسـم المعتدلـة والبـاردة فـى الأراضـى الـصحراوية (١٩٩٤). الـدار العربية للنشر والتوزيع — ٢٨٥ صفحة.

١١- الطماطم: تكنولوجيـا الإنتـاج، والفـسيولوجى، والممارسـات الزراعيـة، والحـصاد والتخزين (١٩٩٨). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٥١١ صفحة.

١٢- الطماطم: الأمراض والآفات ومكافحتها (١٩٩٨). الدار العربية للنشر والتوزيـع — ٢١٠ صفحات.

١٣- إنتاج البطاطس (١٩٩٩). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٤٤٦ صفحة.

١٤- إنتاج البصل والثوم (١٩٩٩). الدار العربية للنشر والتوزيع- ٣٧١ صفحة.

١٥- القرعيات: تكنولوجيا الإنتاج، والفـسيولوجى، والممارسـات الزراعيـة، والحـصاد والتخزين (٢٠٠٠). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٤٩٨ صفحة.

١٦- القرعيات: الأمراض والآفات ومكافحتها (٢٠٠٠). الدار العربية للنـشر والتوزيـع — ٣٣٠ صفحة.

١٧- إنتاج الفلفل والباذنجان (٢٠٠١). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٣٦ صفحة.

١٨- إنتاج الخضر البقولية (٢٠٠١). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٢٤ صفحة.

١٩- إنتاج الفراولة (٢٠٠٢). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٨٨ صفحة.

٢٠- إنتاج الخضر الكرنبية والرمرامية (٢٠٠٣). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٢٧ صفحة.

٢١- إنتاج الخضر الخيمية والعليقية والقلقاسية (٢٠٠٣). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣١٥ صفحة.

٢٢- إنتاج الخضر المركبة والخبازية والقلقاسية (٢٠٠٣). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٠٠ صفحة.

٢٣- إنتاج الخضر الثانوية وغير التقليدية — الجزء الأول (٢٠٠٤). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٠٤ صفحات.

٢٤- إنتاج الخضر الثانوية وغير التقليدية — الجزء الثانى (٢٠٠٤). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٠٠ صفحة.

٢٥- إنتاج الخضر الثانوية وغير التقليدية — الجزء الثالث (٢٠٠٤). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٤٢٤ صفحة.

ثالثًا: فى مجال تربية النبات

١- أساسيات تربية النبات (١٩٩١). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٦٨٢ صفحة.

٢- تربية محاصيل الخضر (١٩٩٢). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٨٠٠ صفحة.

٣- تربية النباتات لمقاومة الأمراض والآفات (١٩٩٣). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٧٨ صفحة.

٤- الأساس الفسيولوجى للتحسين الوراثى فى النباتات: التربية لزيادة الكفاءة الإنتاجية وتحمل الظروف البيئية القاسية (١٩٩٥). المكتبة الأكاديمية — ٣٢٨ صفحة.

٥- الأسس العامة لتربية النبات (٢٠٠٥). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٤٧٧ صفحة.

٦- طرق تربية النبات (٢٠٠٥). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٩٣ صفحة.

٧- تحسين الصفات الكمية: الإحصاء البيولوجى وتطبيقاته فى برامج تربية النبات (٢٠٠٥). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٢٥١ صفحة.

٨- التكنولوجيا الحيوية وتربية النبات (٢٠٠٧). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٧٨٣ صفحة.

٩- تطبيقات تربية النبات فى مكافحة الأمراض والآفات (٢٠٠٨). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٥٨٥ صفحة.

١٠- تربية النبات لتحمل الظروف البيئية القاسية (٢٠١٢). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٥٤٤ صفحة.

رابعًا: فى مجال أصول البحث العلمى والكتابة العلمية

١- أصول البحث العلمى — الجزء الأول: المنهج العلمى وأساليب كتابة البحوث والرسائل العلمية (١٩٩٦). المكتبة الأكاديمية — ٤١٧ صفحة.

٢- أصول البحث العلمى — الجزء الثانى: إعداد وكتابة ونشر البحوث والرسائل العلمية (١٩٩٦). المكتبة الأكاديمية — ٢٧٣ صفحة.

٣- أصول إعداد ونشر البحوث والرسائل العلمية (٢٠٠٨). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٧٧٠ صفحة.